



Etude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au pays de Brest.

Lénaïg Sparfel

► To cite this version:

Lénaïg Sparfel. Etude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au pays de Brest.. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2011. Français. <tel-00636846v2>

HAL Id: tel-00636846

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00636846v2>

Submitted on 2 Nov 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



université de bretagne
occidentale



THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Mention : Géographie

École Doctorale des Sciences de la Mer

présentée par

Lénaïg Sparfel

Préparée à l'Institut Universitaire Européen
de la Mer. Laboratoire Géomer, LETG UMR
6554 CNRS

Etude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au Pays de Brest

Thèse soutenue le 26 septembre 2011

devant le jury composé de :

Marc ROBIN

Professeur des Universités, Université de Nantes / *rapporteur*

Marius THERIAULT

Professeur titulaire, CRAD - Université de Laval / *rapporteur*

Laurence HUBERT-MOY

Professeur des Universités, Université de Rennes 2 / *examinateur*

Iwan LE BERRE

Maître de conférences, Université de Bretagne Occidentale /
examinateur

Françoise GOURMELON

Directrice de recherche, CNRS, LETG UMR 6554 CNRS -
Géomer / *Directrice de thèse*



Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent naturellement à Françoise Gourmelon, qui a dirigé cette thèse. Je la remercie tout particulièrement pour sa patience, ses critiques très constructives, ses encouragements, son aide précieuse dans la longue phase d'écriture de ce manuscrit et lors de la rédaction des publications. Un très grand merci également à Iwan Le Berre, pour son rôle de tuteur de cette thèse et premier relecteur de tous mes écrits, pour ses conseils avisés, et son soutien moral.

Je tiens à remercier tous les membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail : Marius Thériault, Marc Robin et Laurence Hubert-Moy.

Mes remerciements s'adressent également aux personnes m'ayant apporté leur aide au cours de ce travail. Merci donc à Stéphane Pennaguer pour son regard avisé et ses conseils en tant que membre du comité de thèse. Merci à l'équipe de l'Adeupa : Julie Bargain, mon interlocutrice principale, pour sa gentillesse et sa disponibilité, Grégoire Vourc'h, François Rivoal et Sylvain Rouault. Merci également Jean Nabucet du laboratoire Costel pour les discussions techniques autour de l'orienté-objet.

La peine de ce dur labeur qu'a représenté pour moi la rédaction du manuscrit a été considérablement adoucie par un environnement de travail et une équipe incomparable. Merci donc à tous les membres de Géomer : Louis Brigand, Serge, Bernard, Ingrid, Matthias, Cyril, Véro, Isabelle, Lysiane, Simona, Alain, Yannick Lageat. Merci aussi à Isabelle du département de Géographie. J'adresse des remerciements particuliers à Jacqueline Giraudet pour m'avoir initié à l'utilisation d'ArcInfo et pour sa charte Pantone, à Emmanuel Giraudet pour avoir dédramatisé l'emploi des outils statistiques, et pour tous les coups de main techniques sur un peu tout et n'importe quoi. Le labo n'est plus le même sans vous. Merci enfin à Laurence David pour l'aide cartographique, les idées lumineuses pour les figures de dernière minute, et le fabuleux coup de main pour la mise en page du document final.

Je tiens tout particulièrement à remercier les doctorants et post-doctorants, ce sont pour moi de vrais amis qui m'ont écouté et soutenu avec beaucoup de patience et de générosité. Merci donc à Pierre, Cécile, Mathilde (ta puissance de travail et ta détermination ont été moteurs pour moi dans la dernière ligne droite !), David, Damien, Camille, Jim, Anthony, Gaby, Fabio, Leïla, Céline, Jérôme, sans oublier les « anciens » (Nico, Ibou, Rico, Solenn, Thomas, Hernan, Aurélie, Guillaume, Matt). Grâce à vous, de ces années de thèse vont me rester le souvenir des bons plans appart', de la soirée « guitare et chansons », de l'escapade à Belle-Ile... Merci aussi à Ion et Nicolas, compagnons nantais, pour leur très bonne compagnie lors de l'escapade avignonnaise.

Merci à tous ceux qui ont, par leur présence dans ma vie, contribué à l'achèvement de ce travail : les copines toujours attentives, Morgane et Anne-Hélène, les copains de Torr-Penn : Pierre-Yves, Thomas et Erwan, Gaële, Catherine A-B. Merci à mes parents, qui n'ont jamais douté de moi, m'ont encouragé à aller jusqu'au bout de cet travail quand j'étais à deux doigts de tout lâcher, et m'ont écouté me plaindre avec une patience infinie. Merci aussi à Tanguy, Nolwenn, Maina et Gwendal pour votre soutien.

Enfin je dédie cette thèse aux deux personnes les plus chères à mon cœur, Franck et Gaidig. Merci à toi mon amour pour ta patience sans limites, ta confiance aveugle et ton aide quotidienne. La vie sans la thèse peut à présent commencer. Merci à toi ma puce qui est venu nous rejoindre en cours de route. Tu m'aides à garder les pieds sur terre...

Merci à tous !

Liste des sigles et acronymes

APB	Arrêté préfectoral de Protection des Biotopes
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection <i>Radiometer</i>
BD Carthage	Base de Données sur la Cartographie Thématique des Agences de l'Eau
BIG	Base d'Information Géographique
BMO	Brest Métropole Océane
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
CCAM	Communauté de Communes de l'Aulne Maritime
CCPA	Communauté de Communes de Plabennec et des Abers
CCPC	Communauté de Communes de la Presqu'île de Crozon
CCPI	Communauté de Communes du Pays d'Iroise
CCPLCL	Communauté de Communes du Pays de Lesneven – Côte des Légendes
CCPLD	Communauté de Communes du Pays de Landerneau-Daoulas
CEL	Commission Environnement Littoral
CELRL	Conservatoire des Espaces Littoraux et Rivages Lacustres
CG29	Conseil Général du Finistère
CLC	CORINE Land Cover
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CZM	Coastal Zone Management
DATAR	Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale
Deduce	Développement Durable des Côtes Européennes
DIACT	Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires
DMSP	Defense Meteorological Satellites Program
DOG	Document d'Orientations Générales
EEA / AEE	European Environment Agency / Agence Européenne pour l'Environnement
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
EUCC	European Union Coastal Conservation
FAO	Food and Agriculture Organization
GIML	Gestion Intégrée de la Mer et du Littoral
GIZC	Gestion Intégrée de la Zone Côtière
GLC 2000	Global Land Cover 2000
GLP	Global Land Project
GSFC	Goddard Space Flight Center
HR	Haute Résolution
ICZM	Integrated Coastal Zone Management
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IGBP	International Geosphere and Biosphere Program
IGN	Institut Géographique National
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IPLI	Inventaire Permanent du Littoral
IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
JCR	Joint Research Center
LCCS	Land Cover Classification System
LOADT	Loi d'Orientation pour l'Aménagement Durable du Territoire
LUCC	Land Use Land Cover Changes

MEDD	Ministère du Développement Durable
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGDC	National Geophysical Data Center
NGF	Nivellement Général de la France
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PADD	Projet d'Aménagement et de Développement Durable
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNMI	Parc Naturel Marin du Pays d'Iroise
PNRA	Parc Naturel Régional d'Armorique
RGE	Référentiel à Grande Echelle
RNN / RNR	Réserve Naturelle Nationale / Réserve Naturelle Régionale
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SALBI	Schéma d'Aménagement du Littoral Breton et des Iles
SAUM	Schéma d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer
SCOT	Schéma de COhérence Territoriale
SD	Schéma Directeur
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SGMer	Secrétariat Général de la Mer
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
Shon	Surface hors œuvre nette
SIG	Système d'Information Géographique
SMVM	Schéma de Mise en Valeur de la Mer
SOeS	Service de l'Observation et des Statistiques
SPOT	Système Probatoire d'Observation de la Terre
THR	Très Haute Résolution
UE	Union Européenne
UIPN	Union Internationale pour la Protection de la Nature
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
ZICO	Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux
ZNIEFF	Zone Naturelle d'intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale
ZSC	Zone Spéciale de Conservation

Sommaire

Introduction	9
PREMIERE PARTIE – CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	13
Chapitre 1 – Qu'est-ce que la zone côtière ?	13
1. Du point de vue spatial	13
2. Caractéristiques de la zone côtière	17
3. Gérer un espace complexe par la GIZC	24
Chapitre 2 - Indicateurs et connaissance de la zone côtière	27
1. Intérêt des indicateurs pour la connaissance de l'environnement	27
2. Indicateurs et GIZC en Europe	29
3. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols : un indicateur pertinent ?	35
Chapitre 3 – Les changements d'occupation des sols	37
1. Définitions	37
2. Les approches spatiales pour appréhender l'occupation des sols et ses changements	47
3. Les enjeux de recherche concernant les changements d'occupation et d'utilisation des sols dans la zone côtière à l'échelle locale	67
DEUXIEME PARTIE – DONNEES ET METHODES	73
Chapitre 1 – La zone côtière française : un espace attractif en mutation	73
1. La croissance de l'artificialisation sur les littoraux français.	73
2. Les dynamiques démographiques et spatiales du littoral breton	88
Chapitre 2 – Présentation du Pays de Brest	102
1. Un « pays » en périphérie de la Bretagne	102
2. Un territoire polarisé par la ville de Brest	110
3. La gestion de la zone côtière dans le Pays de Brest	111
Chapitre 3 – A l'échelle du pays de Brest : données et méthodes	116
1. Les données disponibles	117
2. Méthode de production d'une information relative à l'occupation des sols	129
3. Méthode de production d'une information relative aux changements d'occupation des sols entre 1977 et 2003	139
TROISIEME PARTIE – RESULTATS	149
Chapitre 1 – Qualité de l'information	149
1. Classification de l'image SPOT 5	149
2. Les données de l'IPLI	160
3. Croisement de l'IPLI (1977) et de la classification de SPOT 5 (2003)	164
Chapitre 2 – Les changements d'occupation des sols entre 1977 et 2003	168
1. Occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest en 1977	168
2. Occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003	173
3. Changements d'occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003	177
Chapitre 3 – facteurs d'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003	189
1. Dynamiques de l'artificialisation	189
2. Les principaux facteurs des dynamiques d'artificialisation	204
3. Synthèse	213
Conclusion générale	217

Introduction

La problématique des changements globaux est actuellement centrale non seulement pour la communauté scientifique, mais aussi pour la société civile. Parmi les divers aspects que cette question recouvre, le rôle déterminant des changements d'occupation et d'utilisation des sols a été démontré, tant à l'échelle globale que locale, depuis plusieurs années (Lambin et Geist, 2006 ; Lepers *et al.*, 2005 ; Ojima *et al.*, 2005). Néanmoins l'effort de recherche concernant les changements d'occupation des sols a essentiellement porté sur les milieux ruraux, les forêts, ou les espaces urbains plutôt que sur des territoires en situation d'interface comme les zones côtières, en dépit de quelques recherches menées à l'échelle régionale ou locale (Phinn et Standford, 2001 ; Kleppel *et al.*, 2006 ; Käyhkö *et al.*, 2011 ; Andrieu et Mering, 2008 ; Chen *et al.*, 2005). Ainsi dans la littérature consacrée aux changements globaux, l'étude des changements de la zone côtière et de leurs conséquences locales est encore rare (Gourmelon *et al.*, 2001 ; Lagabrielle *et al.*, 2007). Or le littoral connaît depuis le siècle dernier, partout dans le monde, des mutations de grande ampleur liées à un afflux de population conséquent (Pison, 2009). Convoité, densément peuplé et exploité par les sociétés humaines, il est donc soumis à d'importantes pressions anthropiques génératrices de dynamiques territoriales et de changements d'occupation des sols.

La zone côtière est un espace spécifique caractérisé par sa position d'interface entre la terre, la mer et l'atmosphère. Elle forme un territoire complexe, où les interactions entre écosystèmes marins et côtiers sont nombreuses. Les pressions humaines exercées sur cet espace naturellement restreint se traduisent par de multiples enjeux environnementaux, économiques et humains qui s'expriment notamment par des conflits d'usages et d'accès aux ressources. En raison de sa richesse et de sa vulnérabilité, la zone côtière fait l'objet depuis les années 1970 d'une attention croissante qui s'exprime globalement par le concept international de Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC) (Cicin-Sain et Knecht, 1998). Sa mise en œuvre implique le partage d'outils et de connaissances sur le territoire concerné et ses caractéristiques, sur ses acteurs et ses enjeux. Dans ce contexte, l'analyse des changements d'occupation des sols contribue à fournir des éléments pertinents pour l'établissement de diagnostics et l'élaboration de perspectives environnementales.

Dans le champ de recherche extrêmement actif des changements d'occupation des sols, l'imagerie satellitaire et aérienne s'est progressivement imposée comme la source de données privilégiée pour l'extraction d'informations pertinentes. A l'échelle globale, la multiplication des images satellitaires acquises et les progrès technologiques réalisés pour leur traitement ont rendu possible la réalisation d'inventaires de l'occupation des sols homogènes et compatibles avec d'autres sources d'information et de synthèses des principales dynamiques spatiales de la surface terrestre. De fait les changements d'occupation des sols brutaux et couvrant de vastes superficies sont aujourd'hui bien décrits (déforestation, désertification, urbanisation rapide, etc). La connaissance des dynamiques territoriales à des échelles intermédiaires (continentales, nationales et régionales) a également très largement progressé ces dernières décennies. En France, les données en provenance de différentes sources (DATAR, 2004 ; DIACT, 2007 ; Béoutis *et al.*, 2009)

attestent ainsi des changements importants occasionnés sur les littoraux métropolitains au cours des cinquante dernières années par la forte croissance démographique et l'urbanisation associée. Si ces données sont utiles à l'échelle nationale, leur utilisation est plus limitée à l'échelle locale du fait de leur niveau d'agrégation. Localement, la production d'informations homogènes et actualisées reste donc encore problématique. Or cette échelle est primordiale car elle correspond à l'échelle de gestion des territoires, notamment par les collectivités territoriales. C'est de plus aux échelles locales que les dynamiques environnementales sont les plus nettement perçues par la société (Houet, 2006), en relation par exemple avec des interventions humaines telles que le défrichement ou la construction. C'est aussi à cette échelle qu'une part importante des changements d'occupation des sols intervient en lien direct avec des initiatives réglementaires telles que la mise en place des Plans locaux d'urbanisme (Pottier, 2005). L'enjeu est donc de disposer d'informations pertinentes pour établir un diagnostic territorial fiable de l'occupation des sols en zone côtière à une échelle locale, en cohérence avec les outils préconisés par la GIZC (exploitation des données existantes).

La production de l'Inventaire Permanent du Littoral (IPLI), comme celle de CORINE Land Cover s'appuie sur des méthodes de photo-interprétation, les supports employés sont des photographies aériennes (IPLI) ou des images satellitaires (SPOT et Landsat pour CORINE Land Cover). Si la multiplication des images Haute Résolution (HR) et Très Haute Résolution (THR) a ouvert des perspectives pour l'acquisition d'une information pertinente à l'échelle locale, les coûts liés à l'acquisition et au traitement des images satellitaires restent encore importants et leur exploitation requiert des compétences méthodologiques et techniques élevées. Néanmoins les limites des méthodes basées sur la photo-interprétation sont nombreuses (délais de traitement, hétérogénéité de l'interprétation, capacité de mise à jour décennales qui les rend peu opérationnelles dans un contexte de suivi à court terme, erreurs difficiles à estimer), ce qui rend laborieuse la production d'une information homogène et exhaustive sur l'occupation des sols à une échelle appropriée et avec une fréquence temporelle adéquate pour répondre aux besoins des politiques publiques. L'enjeu méthodologique est donc de tester un mode de production de données relatives à l'occupation des sols à une échelle locale plus automatisé, et éventuellement reproductible, que la photo-interprétation.

Dans ce contexte, les objectifs de ce travail sont à la fois méthodologiques et thématiques.

Du point de vue méthodologique, il s'agit de produire une information spatialisée et actualisée décrivant l'occupation des sols d'une zone côtière à une échelle locale à partir de l'imagerie satellitaire, afin d'obtenir une information plus adaptée en terme de résolution spatiale que les données déjà disponibles (CORINE Land Cover). La production de cette information est également l'occasion de tester les potentialités de la classification orientée-objet pour l'acquisition de données relatives à l'occupation des sols. La démarche a également pour but d'estimer la faisabilité et l'intérêt du croisement de données hétérogènes du point de vue de leur mode de production, mais disponibles, pour l'analyse des changements d'occupation des sols.

Du point de vue thématique, ce travail a pour objectifs d'une part de décrire finement l'occupation des sols du Pays de Brest, choisi comme site d'étude, et d'autre part de mettre en évidence les changements d'occupation des sols survenus en trente ans. Les résultats

attendus doivent permettre d'établir un diagnostic des dynamiques territoriales des communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003. Enfin, les principaux facteurs explicatifs de l'artificialisation dans la zone côtière du Pays de Brest entre ces deux dates seront identifiés, constituant un préalable à la modélisation des changements territoriaux sur cet espace et participant aux fondements d'une démarche prospective.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du programme scientifique de l'UMR 6554 Littoral Environnement Télédétection Géomatique (LETG) qui porte sur l'analyse et la modélisation des systèmes complexes à l'interface entre nature et société, la zone côtière constituant un terrain d'étude privilégié. Plus spécifiquement, ce travail est une contribution à l'analyse des interactions entre les sociétés humaines et leurs territoires dans la perspective d'identifier et de caractériser les changements d'occupation des sols, et aux recherches menées sur les dynamiques territoriales de la zone côtière dans sa composante terrestre.

Ce document se décompose en trois parties principales :

La première partie présente le cadre thématique dans lequel notre travail s'inscrit. Les caractéristiques principales de la zone côtière comme un espace aux problématiques spécifiques en lien avec une forte pression anthropique y sont présentées. L'intérêt que présente l'étude des changements d'occupation des sols pour la connaissance de cet espace est ensuite développé.

La seconde partie dresse un bilan des dynamiques spatiales récentes des littoraux français et bretons (à l'échelle nationale et régionale), avant de présenter notre zone d'étude, le Pays de Brest. Puis la méthodologie retenue dans le cadre de ce travail pour l'identification des changements d'occupation des sols est développée. Cette méthodologie s'articule autour de la classification orientée-objet d'une image satellitaire, et de l'utilisation de données d'occupation des sols hétérogènes pour la production d'une information sur les changements d'occupation des sols survenus dans les communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003.

La troisième partie présente et discute les résultats obtenus. Après avoir exposé la qualité des résultats de la classification d'image et des données de changements produites, les résultats sont détaillés et servent à élaborer quelques pistes de réflexion relatives aux dynamiques de l'occupation des sols mises en évidence. Les principaux facteurs responsables de l'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 sont identifiés. Enfin la conclusion présente les limites de la démarche, ainsi que plusieurs perspectives de recherches, tant méthodologiques que thématiques.

PREMIERE PARTIE – CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

CHAPITRE 1 – QU'EST-CE QUE LA ZONE COTIERE ?

La rencontre entre la terre, la mer et l'atmosphère crée un espace original aux dynamiques naturelles et sociales particulières. Littoral, espace littoral, zone côtière, bande côtière, frange côtière, les termes désignant cet espace sont nombreux. La multiplicité des expressions et des définitions employées reflète la diversité des regards portés sur ce territoire (Bersani *et al.*, 2006). Depuis le développement en France de la Gestion Intégrée de la Zone Côtière l'expression « zone côtière » est de plus en plus employée, souvent en lieu et place du « littoral ». La définition de la zone côtière, et plus spécifiquement sa délimitation spatiale, est également variable en fonction des auteurs et du contexte. Toutefois l'interface terre-mer-atmosphère que nous désignerons par la suite sous le terme de zone côtière présente un certain nombre de caractéristiques. C'est un espace riche du point de vue de la biodiversité, et pourvoyeur de nombreux services pour l'homme, ce qui explique les densités de populations souvent élevées sur les littoraux du globe. Du fait de l'importance de son exploitation anthropique, la zone côtière est un espace particulièrement sensible et menacé, et le cadre de nombreux conflits d'usages et d'impacts dont certaines conséquences, particulièrement à moyen et long termes, sont encore mal connues. La prise de conscience des potentialités et de la fragilité de cet espace complexe a conduit à l'émergence dans les années 1970 de mesures de gestion et de protection des espaces côtiers (*Coastal Zone Management Act* aux Etats-Unis en 1972, aujourd'hui institutionnalisé au niveau mondial sous la forme de la Gestion Intégrée de la Zone Côtière).

L'objectif de ce chapitre est donc de présenter très brièvement quelques éléments spécifiques à la zone côtière à l'échelle globale, et aux mesures de gestion dont elle fait l'objet.

1. Du point de vue spatial

1.1. Peut-on définir le littoral ?

Le terme « littoral » (du latin *litus*, *litoris*, qui signifie rive) est passé dans le vocabulaire courant en France depuis l'institution de la loi Littoral en 1986. Le littoral évoque spontanément la linéarité, comprise comme la bande de terre en contact direct avec la mer. Il n'existe pas de définition stricte de cette ligne faisant consensus, entre le trait de côte, le zéro hydrographique, ou encore le zéro NGF (Robin, 2002). La définition du trait de côte lui-même est soumise à discussion et fait l'objet d'interprétations diverses en fonction des méthodes et des données utilisées pour l'acquérir (Grenier et Dubois, 1990 ; Boak et Turner, 2005). Le cas français est révélateur de cette difficulté à définir une ligne unique. Ce n'est en effet que depuis 2007 que le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et l'Institut Géographique National (IGN) sont parvenus à un consensus avec la définition d'un trait de côte commun aux deux organismes. De part et d'autre de la ligne de contact entre la terre et la mer, les domaines marins et terrestres interagissent et contribuent

à créer un système complexe et spécifique (Gourmelon *et al.*, 2005a). Le littoral possède de fait une « épaisseur », constituée par un espace de largeur variable, s'étendant à la fois à terre et en mer. Dans la terminologie institutionnelle, les termes de « bande côtière » ou « zone côtière » sont de plus en plus souvent préférés à celui de littoral afin d'évoquer cet espace. Selon Meur-Ferec (2006), ce glissement dans la terminologie est plus un choix politique pour redonner au littoral sa dimension maritime un temps négligée qu'une question de sémantique autour des limites géographiques respectives du littoral et de la zone côtière. Selon Gourmelon (2003), le terme « littoral » est plus souvent utilisé quand l'espace concerné s'assimile à un linéaire tandis que le terme « zone côtière » fait plutôt référence à un espace perçu à une plus petite échelle. Les termes « littoral » et « zone côtière » seront ici utilisés indifféremment.

Penser le littoral sous forme de « zone » ou de « bande » s'étendant en mer et sur terre ne résout pas le problème des limites à lui donner. Où commence et où s'arrête l'influence de la terre sur la mer et inversement ? Si on conçoit bien que terre et mer soient associées au sein d'un espace commun, les limites à donner à cet espace sont très largement discutées.

1.2. La zone côtière, une entité aux limites floues

L'apparition de l'expression « zone côtière » est assez récente. Elle est vraisemblablement traduite de l'anglais (*coastal zone*) et se banalise en France depuis le début des années 2000 avec la mise en application de la GIZC, traduction française de *Integrated Coastal Zone Management* (ICZM) ou encore *Coastal Zone Management* (CZM). Pour Holligan et De Boois (1993) la zone côtière est un espace s'étendant des plaines côtières aux abords du plateau continental. Fabbri (1998) assimile cet espace à un système au sein duquel les facteurs de changements agissent sur des sous-systèmes naturels ou anthropiques interconnectés, conduisant à des interactions négatives ou positives d'ordre environnemental, social, culturel ou économique. Pour Scura *et al.* (1992), la zone côtière correspond aux dimensions anthropiques de l'interface terre-mer (occupation du littoral et usage anthropique qui en est fait). Le périmètre d'une zone côtière peut en principe être défini en fonction des objectifs de gestion (OCDE, 1993 ; Commission Européenne, 1999), des enjeux du territoire concerné et des objectifs visés, dans le cadre d'une démarche de projet. « Plus qu'un simple trait, la zone côtière doit être vue comme un espace à géométrie variable dont les limites à terre et en mer se définissent en fonction de l'enjeu ou du problème posé et des réponses à apporter » (Région Bretagne, 2007). On conçoit alors qu'il y ait autant de zones côtières que de plans de gestion.

Les institutions s'accommodent de cette « non-définition » dans le sens où elle autorise une adaptation des périmètres de gestion. Ainsi en accord avec ce principe, la Région Bretagne dans sa Charte des Espaces Côtiers Bretons¹ a choisi de considérer comme « zone côtière » l'ensemble de la région dans la limite de ses frontières administratives. En mer, la frontière adoptée est celle des 12 miles marins². Le rapport français d'application de la Recommandation du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 relative à la mise en

1. La Charte des Espaces côtiers bretons a été votée par le Conseil Régional de Bretagne en décembre 2007. Elaborée à l'issue d'une phase de concertation avec l'ensemble des acteurs de la zone côtière, la Charte a pour ambition de fixer les règles d'une gestion nouvelle et intégrée de la zone côtière bretonne (<http://www.labretagneetlamer.fr>)

2. <http://www.labretagneetlamer.fr/files/rapport.pdf>

œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtière en Europe³ se félicite également du caractère malléable des limites du littoral et de la zone côtière : « Il n'existe pas en France de définition standard, unique ou même officielle du littoral qui permette de traduire de façon satisfaisante la complexité de ses enjeux. [...] Cette absence de définition précise se trouve légitimée en matière de gestion intégrée des zones côtières. En effet, dans une telle perspective où il s'agit de coordonner différents instruments aux périmètres variés ainsi que de favoriser les échanges entre une multitude d'acteurs sectoriels, il n'est pas souhaitable qu'une définition *ex ante* soit établie ».

Les frontières à donner à la zone côtière varient enfin en fonction du point de vue adopté, entre entité naturelle et construction socio-culturelle (Cormier-Salem, 2003). Cette liberté théorique de définition est cependant bornée par les limites existantes à terre et en mer, qu'elles soient de nature administratives, juridiques ou réglementaires.

1.3. Des définitions adaptées aux besoins ?

La zone côtière est donc présentée comme un élément aux contours flous et variables en fonction des priorités de gestion. Mais un territoire n'est jamais vierge de limites ou de frontières, et les libertés prises dans la définition de la zone côtière interviennent surtout dans le sens du choix des limites préexistantes. Si par exemple dans un plan de gestion d'une zone côtière un enjeu concerne la qualité des eaux côtières, il paraît logique de prendre en compte les bassins versants dans sa délimitation terrestre. Si on cherche plutôt à maîtriser l'urbanisation pour limiter la pollution par ruissellement, favoriser la protection d'habitats sensibles, ou maintenir des paysages ou l'équité sociale, des limites comme la bande des 100 m imposée par la loi Littoral, la commune littorale ou encore le bassin de vie⁴ s'imposent. Dans un contexte de gestion, il est également nécessaire que les acteurs locaux se reconnaissent dans le territoire ainsi délimité : « Si on veut s'assurer de la réussite d'un processus de gestion intégrée de la zone côtière, il convient de veiller à ce qu'il s'appuie sur un territoire pertinent, et surtout identifiable et reconnu par tous » (Euzenes et Le Foll, 2004). Une des craintes des gestionnaires et des acteurs locaux dans la mise en place de plans de gestion est la création de nouvelles structures et réglementations susceptibles de se superposer à l'existant, et de complexifier encore davantage une situation déjà trop souvent confuse.

Le problème de ces limites est d'autant plus important en France qu'à l'emboîtement des structures et des compétences administratives, souvent qualifié de « mille-feuilles », viennent se superposer des cadres réglementaires et / ou de protection particulièrement denses sur la partie terrestre du littoral : réserves naturelles, parcs régionaux et nationaux, zones Natura 2000, périmètre de protection de la loi Littoral, propriétés du Conservatoire des Espaces Littoraux et Rivages Lacustres (CELRL), etc. (Gourmelon *et al.*, 2005a ; Gourmelon, 2003) (figure 1). Ces outils venant naturellement s'intégrer au projet de gestion, il est généralement nécessaire d'en tenir compte.

3. Le rapport est disponible sur le site internet de la DIACT : <http://www.diact.gouv.fr/IMG/File/RapportfrancaisrecommandationeuropeenneGIZC.pdf>

4. Le bassin de vie est une entité spatiale définie par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) visant à découper le territoire en fonction de données statistiques relatives à l'emploi et à l'équipement. « Le bassin de vie est le plus petit territoire sur lequel les habitants ont accès à la fois aux équipements et à l'emploi » (http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?ref_id=bassins_vie®_id=99#p2).

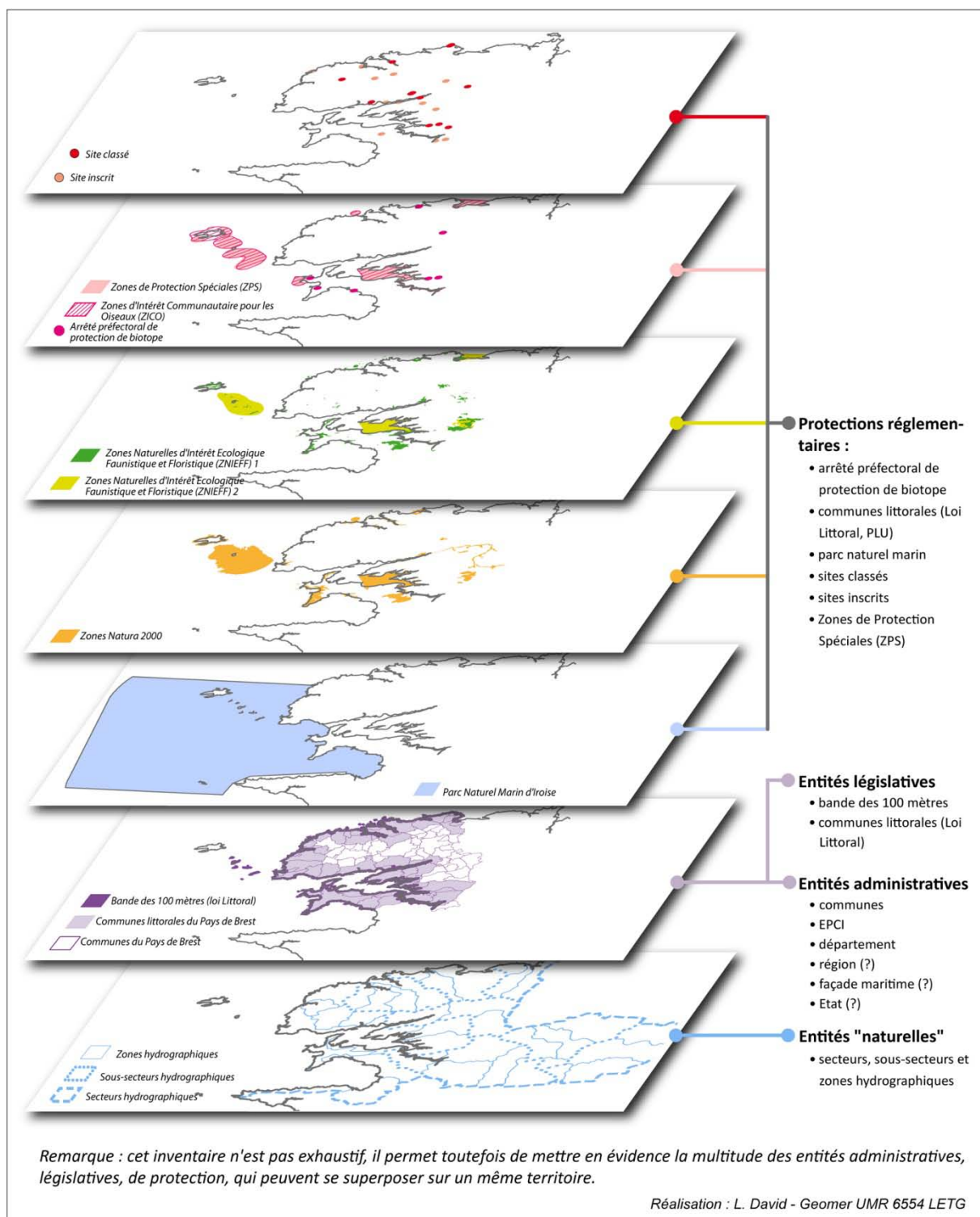


Figure 1 : Un exemple de la superposition des limites administratives et réglementaires en zone côtière : le cas du Pays de Brest.

Ainsi, les travaux statistiques menés en France par l'Observatoire du Littoral⁵ ont nécessité une réflexion sur les limites géographiques à prendre en compte dans les analyses. Conditionnée par les échelles de recueil des données statistiques (le plus petit échelon étant la plupart du temps la commune), l'analyse s'effectue généralement à différentes échelles : communes, cantons, bassins de vies, départements. Deux types d'espace sont pris en compte en fonction de leur éloignement relatif à la mer : les communes littorales telles qu'elles sont définies par la loi Littoral⁶ c'est-à-dire les communes ayant une façade maritime, et l'arrière-pays, défini comme les communes non littorales des cantons littoraux (DATAR, 2004). Ces limites ne sont pas les plus appropriées car la très grande variabilité de la taille des communes littorales introduit des biais non négligeables dans les estimations statistiques et dans les comparaisons entre façades maritimes notamment.

Dans la pratique, les limites d'une zone côtière sont donc largement basées sur les limites juridictionnelles et administratives, et ce pour des questions de simplicité de gestion, de mise en application des lois, mais également pour une question d'acquisition de données, élément essentiel à la connaissance et à la mise en place d'une gestion efficace et durable. Un des grands défis de la mise en place d'un plan de gestion cohérent consiste de fait à prendre en compte des limites susceptibles d'intégrer l'ensemble des problématiques spécifiques au littoral considéré, et ne pas s'arrêter à une approche sectorielle abordée par des limites trop restrictives (Balaguer *et al.*, 2008).

Sans perdre de vue la dimension maritime de la zone côtière nous nous intéresserons dans le cadre de nos travaux uniquement à sa partie terrestre.

2. Caractéristiques de la zone côtière

Indépendamment des difficultés liées à sa définition, la zone côtière possède un certain nombre de caractéristiques qui lui sont propres. Espace pourvoyeur de richesses et de services, et par conséquent densément peuplé et exploité, le littoral est dynamique et mobile. Certaines portions, victimes de leur attractivité, sont menacées, hypothéquant de fait le fonctionnement du système « zone côtière » et le bien-être des humains qui y vivent.

2.1. Un espace riche et pourvoyeur de services

La notion de services écosystémiques permet une approche intégrée qui souligne les interdépendances entre les enjeux écologiques et les enjeux économiques (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Daily *et al.*, 2000 ; Costanza *et al.*, 1997 ; de Groot *et al.*, 2002). Elle permet non seulement d'estimer ce que la nature apporte à l'homme en termes monétaires, mais aussi de progresser dans la connaissance des liens entre écosystèmes et

5. Initialement créé par l'Institut Français de l'Environnement (IFEN), l'Observatoire du Littoral est aujourd'hui mis en œuvre par le service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) dans le cadre d'une convention regroupant le ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, la Datar et le Secrétariat général de la Mer. Il a pour mission de valoriser et de compléter les informations existantes sur le littoral sur ses aspects environnementaux, sociaux et économiques, dans l'objectif de fournir à l'ensemble des acteurs du littoral l'accès à une information cohérente, mutualisée et organisée. L'ensemble de ces informations sont disponibles sur le site de l'Observatoire à l'adresse suivante : <http://www.littoral.ifen.fr/Accueil.59.0.html>

6. La liste de ces communes littorales est disponible sur le site de l'Observatoire du Littoral à l'adresse suivante : <http://www.littoral.ifen.fr/Indicateurs.8.0.html>

sociétés humaines, de mesurer dans le temps les effets des usages humains, et partant du postulat que le bien-être humain est étroitement lié aux services rendus par les écosystèmes, d'évaluer l'impact des changements subis par les écosystèmes sur les sociétés humaines à différentes échelles spatiales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) (figure 2).

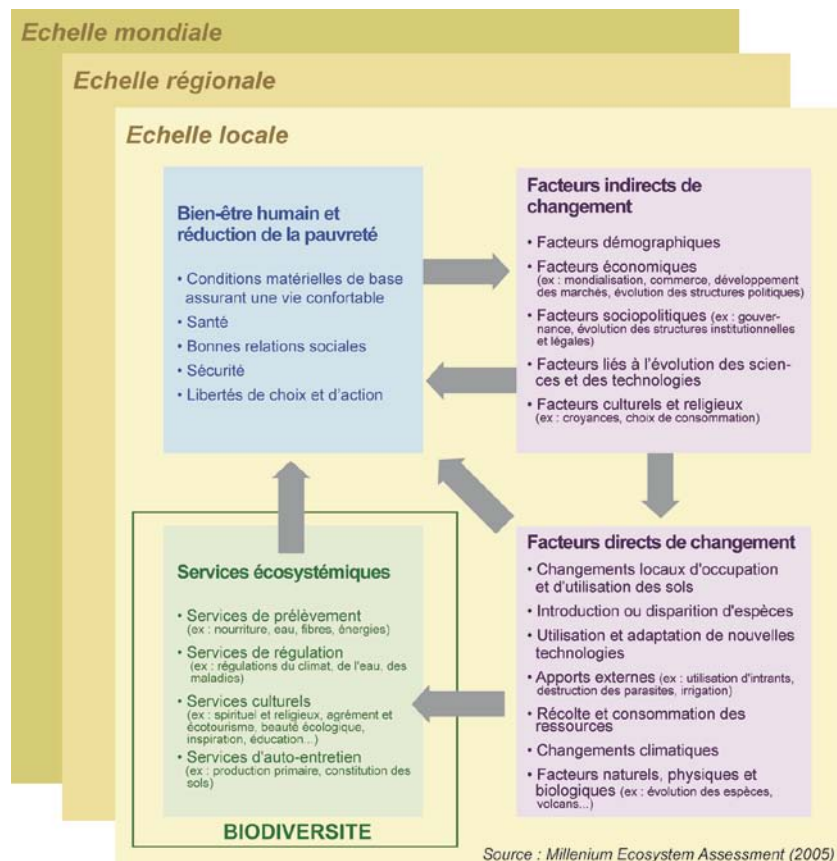


Figure 2 : Interactions entre la biodiversité, les services écosystémiques, le bien-être humain et les facteurs de changements (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Les écosystèmes côtiers, parmi les plus productifs de la planète, offrent de très nombreux services (UNEP, 2006) :

- Des services d'approvisionnement : nourriture (poisson et autres fruits de mer, algues...), matières premières (sable, eau, sel...), carburant (pétrole, gaz...) ;
- Des services de régulation : maintien des équilibres hydrologiques et des contrôles des flux, protection naturelle du trait de côte contre les tempêtes et les inondations, maintien des cycles de nutriments et traitement des déchets, maintien de la qualité de l'eau, mise à disposition de zones pour l'aquaculture ;
- Des services culturels, spirituels, de loisirs : ressources paysagères, tourisme... ;
- Des services de soutien : photosynthèse, cycle nutritif...

Ces services, notamment culturels et d'approvisionnement, rendent la zone côtière très attractive ce qui entraîne mécaniquement une pression de plus en plus forte sur ces milieux. Après les avoir exploités sans soucis de durabilité, les sociétés littorales se trouvent aujourd'hui confrontées à de multiples difficultés comme la raréfaction des stocks de poissons, des problèmes de santé publique induits par le rejet de déchets dans les eaux côtières, et bien d'autres encore (FAO, 2009). Or la « survie » à long terme des populations littorales est en grande partie dépendante de la qualité des écosystèmes côtiers et des services qu'ils peuvent fournir (Barbier *et al.*, 2008), d'où la mise en œuvre de mesures de gestion adaptées (Granek *et al.*, 2010).

2.2. Un espace densément occupé et exploité

La zone côtière est historiquement un lieu privilégié pour l'installation humaine. En 1990 on estimait que 23 % de la population mondiale vivait à moins de 100 km de la côte (Small et Nicholls, 2003). De même, la densité de population était évaluée en 1990 dans les zones côtières mondiales à 112 habitants / km², contre 44 habitants / km² à l'échelle planétaire (figure 3). Ainsi 400 millions de personnes vivaient à moins de 20 km des côtes, le nombre et la densité de population décroissant ensuite avec l'éloignement du trait de côte (Small et Nicholls, 2003 ; Small *et al.*, 2000). Dans certains secteurs, les concentrations humaines sont extrêmement élevées, formant parfois de vastes conurbations. Actuellement huit des dix plus grandes agglomérations du globe se situent sur le littoral. Certains littoraux de la planète sont certes vides de toute implantation humaine. Mais la très grande attractivité du littoral, dans le cadre d'un phénomène général de littoralisation⁷, constitue un des faits marquants de ces dernières décennies pour ce qui concerne la répartition de la population du globe. Selon de récentes estimations⁸, la population mondiale vivant à moins de 100 km augmenterait à l'horizon 2025 de 35 % par rapport au niveau de 1995, passant de 1,21 milliards à 2,75 milliards d'habitants (Small et Nicholls, 2003).

7. La littoralisation peut être définie comme le « mouvement qui entraîne vers les côtes populations et activités ». Ce mouvement a pour effet de favoriser l'industrialisation des littoraux (George et Verger, 2009).

8. Ces estimations ont été réalisées par l'université de Columbia et sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.earth.columbia.edu/news/2006/story07-11-06.php> (carte de l'évolution estimée de la population sur l'ensemble de la planète entre 1995 et 2025).

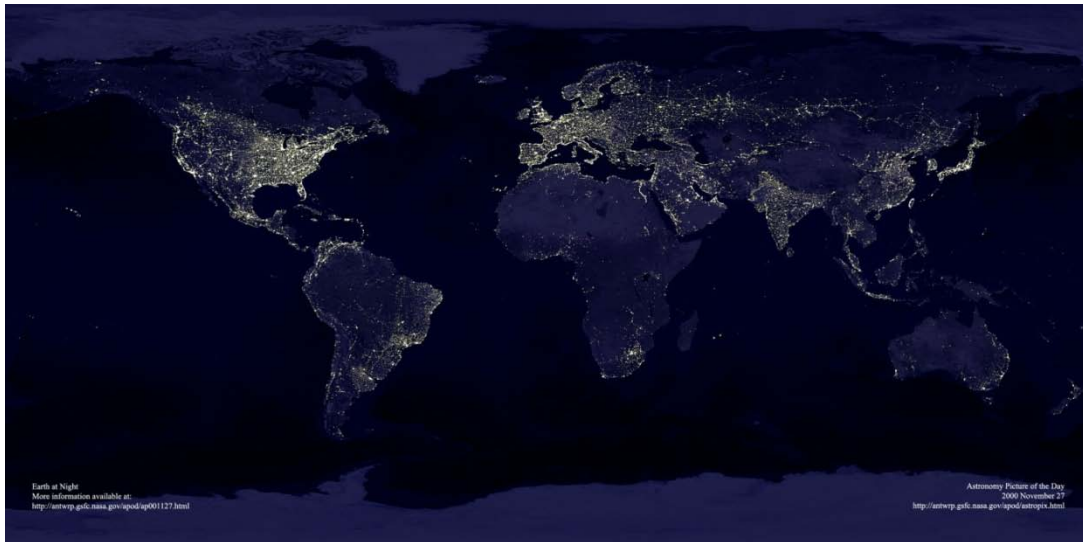


Figure 3 : Répartition de la population mondiale (novembre 2000) (Mayhew et Simmon (NASA/GSFC), NOAA/NGDC, DMSP Digital Archive, <http://apod.nasa.gov/apod/ap001127.html>).

Cette attractivité engendre la concentration d'activités et d'usages consommateurs de ressources et parfois concurrentiels (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; Gourmelon *et al.*, 2005a ; Vallega, 1992 ; Vallega, 1999). En effet, le littoral est le support d'usages très divers pouvant varier en fonction des littoraux et de leurs ressources potentielles. La bande terrestre de la zone côtière est utilisée pour la construction d'infrastructures portuaires (de pêche, de transport...) et d'industries, pour l'agriculture, pour le développement d'infrastructures destinées à l'accueil des touristes. Une grande partie de la ressource en espace offerte par la zone côtière est également consommée par la construction d'habitations. A cela s'ajoute en outre une prise de conscience de la richesse et de la diversité des espaces naturels littoraux avec comme corollaire une volonté de plus en plus marquée de protection de la nature. Du fait de ses ressources spatiales limitées et des intérêts parfois divergents de ses nombreux acteurs, des conflits d'usages finissent par émerger (figure 4).

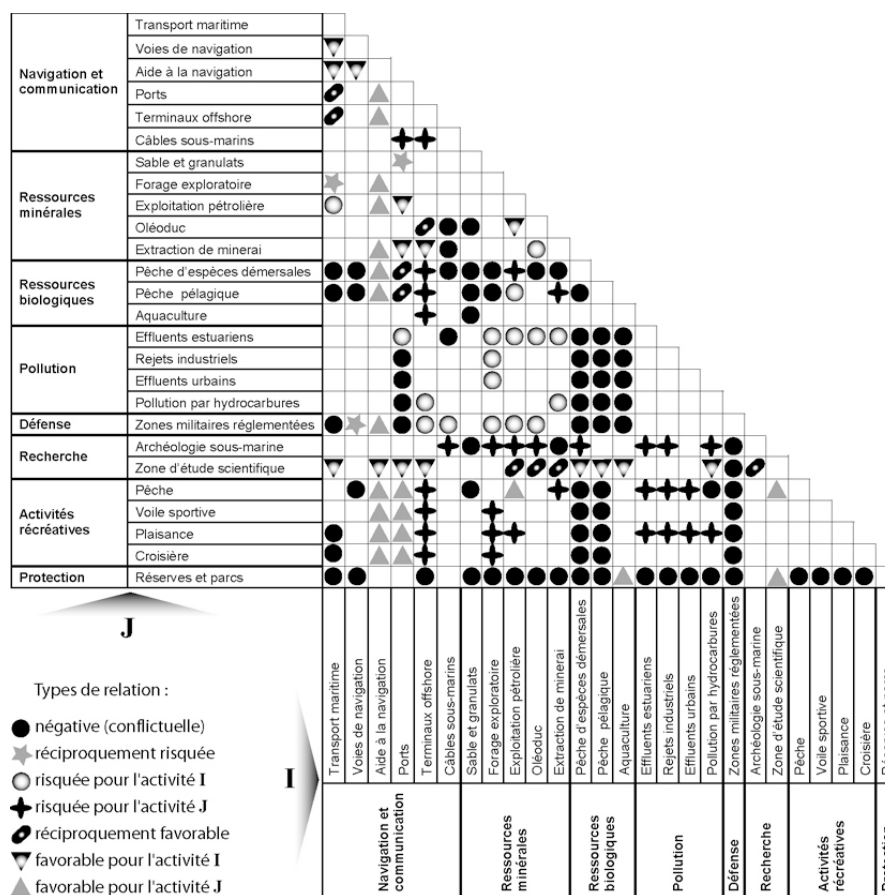


Figure 4 : Recensement des interactions entre activités humaines en zone côtière méditerranéenne (Vallega, 1992).

Les impacts potentiels de ces multiples usages sont multiples et d'intensité variable en fonction des espaces côtiers concernés. La figure 5 donne un aperçu des conséquences possibles d'une augmentation de la pression de l'urbanisation sur la zone côtière, à différentes échelles.

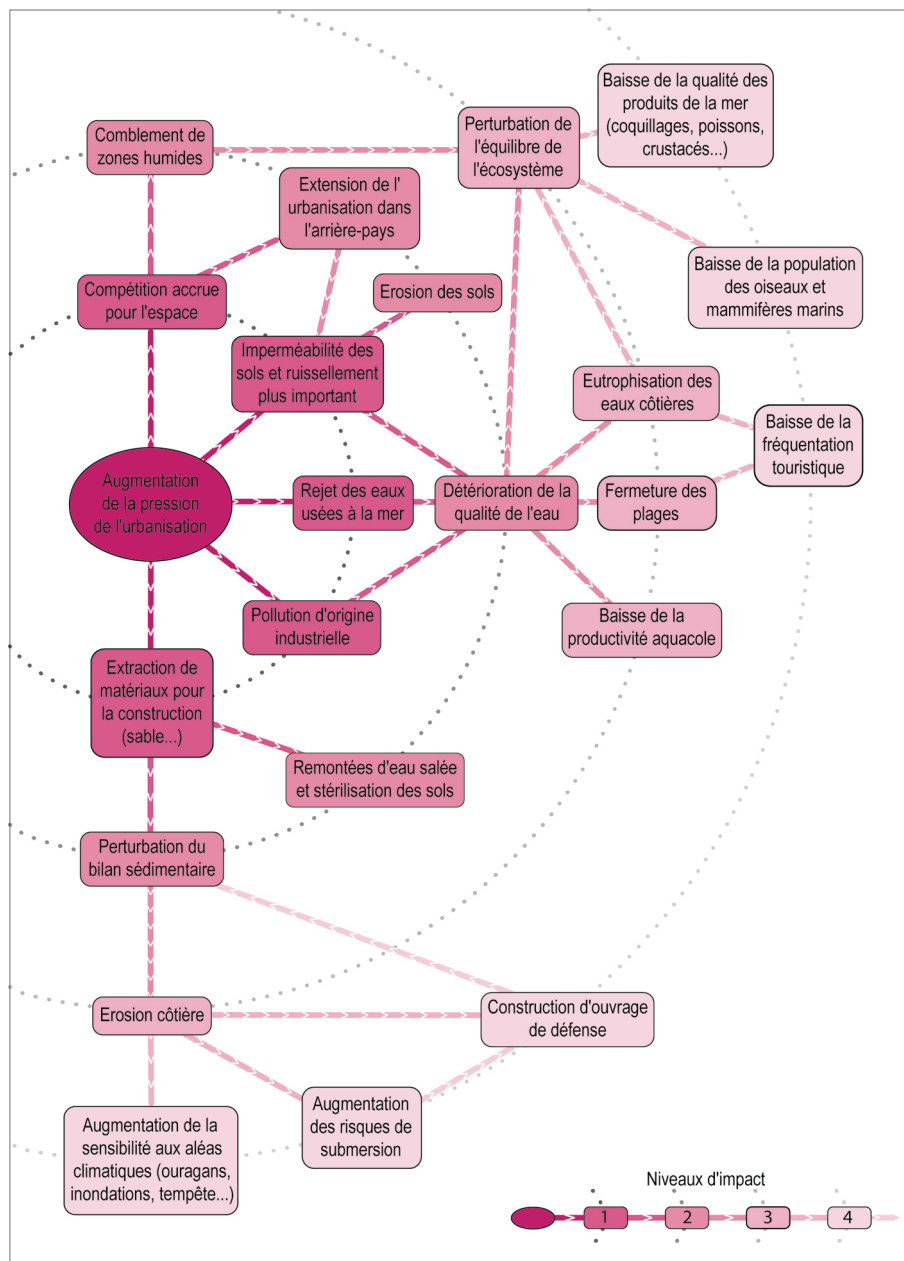


Figure 5 : Impacts « emboîtés » résultant d'une augmentation de la pression urbanistique sur la zone côtière (d'après Hénocque, 2001 ; Kullenberg, 2001).

L'ensemble de ces usages ont un impact direct sur les écosystèmes côtiers, et par conséquent sur les activités humaines dont, réciproquement, la concentration menace les équilibres écologiques, économiques, culturels et sociaux des littoraux. L'interdépendance de ces éléments et le très grand nombre d'impacts croisés rendent ainsi la situation complexe et difficile à appréhender, et donc à réguler et à gérer (Gourmelon *et al.*, 2005a). En outre, la concentration des usages étant en forte augmentation sur cette bande étroite, les enjeux se multiplient et la rendent d'autant plus vulnérable aux aléas naturels ou humains (Meur-Ferec, 2006 ; Robin, 2005).

2.3. Un espace fragile et sensible aux aléas

Les zones côtières sont sensibles à de nombreux aléas⁹ naturels (érosion, tempêtes, inondations...) et humains (pollution, risques technologiques...). L'augmentation démographique qu'elles subissent expose une part de plus en plus grande de l'humanité à des risques potentiels (Small *et al.*, 2000). La multiplication des études relatives au changement climatique global, l'élévation du niveau de la mer et leur impact sur les populations et les écosystème côtiers (Small *et al.*, 2000 ; McGranahan *et al.*, 2007 ; Nicholls, 2004 ; McLean *et al.*, 2001) semble cependant faire soudainement redécouvrir aux humains le caractère mouvant du trait de côte. Les risques induits par une installation en bord de mer étant connus (et subis) depuis longtemps, les populations littorales cherchent à s'adapter à la mobilité du littoral par des aménagements (endiguage, enrochement, poldérisation, assèchement de zones humides...). La plupart vise à figer le trait de côte dans l'espace et ainsi protéger les installations humaines (Meur-Ferec, 2006 ; Meur-Ferec et Morel, 2004), mais leur succès est parfois relatif comme l'ont montré plusieurs catastrophes récentes en France (tempête Xynthia) ou en Asie (tsunamis d'Indonésie en 2006, au Japon en 2011) par exemple.

Le recul du trait de côte est souvent accentué par ces mêmes activités humaines (extraction de sable, construction d'ouvrages de défense « en dur » induisant une perturbation du transit sédimentaire). Dans l'Union Européenne, un cinquième de la longueur du littoral est en érosion en raison de facteurs humains (EAA, 2006). Conséquence directe de la pression anthropique grandissante dans les zones côtières, le nombre de catastrophes naturelles littorales (inondations, sécheresses, tremblements de terre, tempêtes, etc.) ayant requis une assistance internationale a été multiplié par quatre en quarante ans (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

La vulnérabilité des zones littorales, entendue comme la traduction de la fragilité d'un système dans son ensemble, et de manière indirecte sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa (Turner *et al.*, 2003 ; Pigeon, 2005) est de plus en plus forte. En effet les risques côtiers deviennent aujourd'hui des désastres car la capacité de résilience de ces milieux diminue du fait des changements environnementaux et de la présence de plus en plus dense de l'humain et de ses activités (Gaillard *et al.*, 2010).

Or la compréhension des liens existant entre les écosystèmes et les sociétés humaines peut potentiellement aider à réduire la vulnérabilité des zones côtières et à améliorer leur capacité de résilience (Adger *et al.*, 2005). C'est dans ce contexte de compréhension et d'approche holistique de la zone côtière que tente de s'inscrire depuis plusieurs décennies le processus de GIZC.

9. Un aléa est un « événement d'origine naturelle ou humaine potentiellement dangereux dont on essaie d'estimer l'intensité et la probabilité d'occurrence par l'étude des périodes de retour ou des prédispositions du site » (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1997).

3. Gérer un espace complexe par la GIZC

La multiplicité des situations littorales et leur singularité amène à une grande diversité des usages, et donc des enjeux de gestion et de protection des zones côtières. La gestion de l'espace côtier est par nature complexe, et les mécanismes de cette gestion sont très souvent le produit de processus multiples visant à répondre à des problèmes et à des enjeux particuliers apparus les uns après les autres. Cette caractéristique conduit à un empilement de moyens de gestion cloisonnés et à un enchevêtrement des instances décisionnelles associées (Pennanguer, 2005). Les politiques publiques « traditionnelles » d'aménagement des territoires littoraux reposant sur une logique de planification spatiale (Miossec, 1998) ou les projets de sanctuarisation sous formes de protections strictes d'espaces littoraux (Cormier-Salem, 2003), apparaissent aujourd'hui largement dépassées. Depuis plusieurs décennies, une vision de plus en plus intégrée et holistique de la zone côtière s'impose dans la réflexion relative à la gestion des espaces littoraux (Gourmelon *et al.*, 2005a).

3.1. Prise de conscience de la fragilité de la zone côtière

L'homme n'a que récemment pris conscience de la dégradation de certains milieux naturels. La création de l'Union Internationale pour la Protection de la Nature (UIPN) en 1948, devenue en 1954 l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) en constitue un premier jalon (Dron, 1995). De fait, toute activité humaine a un impact plus ou moins intense et plus ou moins direct sur le milieu dans lequel elle se déroule. La nécessité de protéger la zone côtière est apparue parallèlement à l'émergence des mouvements de protection de l'environnement. L'apparition, au début des années 1970, des notions de « croissance soutenable » et de « développement durable », formulées dans le rapport Brundtland¹⁰, a amené à réfléchir à la cohabitation de l'homme et de la nature, dans un respect à la fois des activités humaines et du milieu dans lequel elles se développent. De fait, le développement durable vise à favoriser un état d'harmonie entre les êtres humains et entre l'Homme et la nature, et désigne un processus de développement qui met l'accent sur le fait que l'utilisation des ressources doit s'inscrire dans une triple perspective de durabilité écologique, de viabilité économique et d'équité sociale à long terme.

3.2. Un concept mondial

La GIZC est un processus en gestation depuis le début des années 1970, et les américains furent les premiers à la conceptualiser dès 1972 dans le *Coastal Zone Management Act*¹¹. Ce programme partait du constat qu'aucun des cadres réglementaires alors existants ne fournissait les outils pertinents pour résoudre les problèmes posés par la croissance de la demande comme par la nécessaire protection des espaces sensibles. Devenu une loi, le *Coastal Zone Management Act* impose aux états côtiers américains de mettre en œuvre des programmes de gestion dont les buts sont :

10. <http://www.agora21.org/dd/frame-brundtland.html>

11. http://coastalmanagement.noaa.gov/czm/czm_act.html

- d'utiliser de façon raisonnée des ressources naturelles dans une perspective de développement durable ;
- d'accorder une attention spécifique à l'écologie, la culture, l'histoire, l'esthétique tout comme aux besoins de développement économique ;
- de préparer des plans de gestion spécifiques pour les zones à risques ;
- d'encourager la coordination des divers acteurs et autorités compétentes dans un même objectif de gestion.

Les recommandations du chapitre 17 de l'Agenda 21¹² résultant de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement à Rio en 1992 ont confirmé cette volonté de gestion intégrée.

Depuis cette date, la GIZC s'est diffusée à l'ensemble des littoraux du globe, et de nombreuses expérimentations à des échelles très diverses ont lieu sur tous les continents. A partir de l'analyse de ces expérimentations ont été rédigés de multiples guides de bonnes pratiques qui marqueraient la première phase de maturité de la GIZC, son adoption étant devenue une base centrale du développement durable des littoraux du monde (Billé, 2006).

3.3. Un processus dynamique et partagé

Il est difficile de réduire la GIZC à une définition unique, car il existe de nombreuses façons d'appréhender ce qui est avant tout un « processus dynamique qui réunit gouvernements et sociétés, sciences et décideurs, intérêts publics et privés en vue de la protection et du développement des systèmes côtiers » (Cicin-Sain et Knecht, 1998). La GIZC peut être considérée comme une déclinaison spécifique au littoral du concept plus global de développement durable (Meur-Ferec, 2006 ; Rolland, 2005 ; Rey-Valette et Roussel, 2006), équilibrant développement économique et conservation, et privilégiant la concertation pour la résolution des conflits et la participation des acteurs aux prises de décision dans le cadre du concept de gouvernance (Meur-Ferec, 2007). De plus, Rey-Valette et Roussel (2006) considèrent qu'il existe deux logiques d' « entrée » dans la GIZC : on peut la considérer comme un protocole avec des étapes et des conditions pour la gestion intégrée, ou bien appréhender sa mise en place par l'intermédiaire de cadres institutionnels d'aménagement du territoire généralistes (Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT), Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM), Parcs Marins pour la France). Les multiples retours d'expériences attestent du fait que la GIZC n'est en aucun cas un outil « clé en main » qui permettrait de résoudre l'ensemble des problèmes rencontrés dans une zone côtière, et qu'il n'existe pas de méthodes formalisées pour sa mise en œuvre opérationnelle (Meur-Ferec, 2007).

Il s'agit d'une démarche globale qui repose majoritairement sur l'expérimentation, associée à un encadrement par l'établissement de guides des bonnes pratiques basés sur ces mêmes expérimentations. Scientifiques et grandes institutions internationales en ont ainsi progressivement défini les principes majeurs, et ont publié des guides à l'usage des gestionnaires (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; OCDE, 1993 ; Commission Européenne, 1999 ;

12. <http://un.org/french/events/rio92/agenda21/action17.htm>

Denis et Hénocque, 2001 ; UNESCO, 1997 ; Salm *et al.*, 2000) et des recommandations (UE, 2002 ; CEL, 2002 ; DIACT-SGL, 2006) pour aider à sa mise en œuvre. Des « boîtes à outils » adaptées aux spécificités locales sont également proposées (UICN, 2004 ; UICN, 2008). En complément, des outils d'analyse de la mise en œuvre de la GIZC tels que des indicateurs, proposés par les institutions (EUCC, 2003) et par la communauté scientifique (Olsen, 2003 ; Hénocque, 2003), permettent d'évaluer l'efficacité et la portée des approches mises en œuvre.

Une GIZC opérationnelle s'appuie sur des prises de décisions partiellement basées sur une connaissance scientifique de la zone côtière. Elle doit donc disposer de données et d'informations pertinentes, ainsi que d'outils d'analyse et de représentation adaptés. Cette information a vocation à être diffusée et partagée entre les acteurs du littoral pour construire une connaissance commune de cet espace (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; Bersani *et al.*, 2006 ; Gourmelon *et al.*, 2005a).

CHAPITRE 2 - INDICATEURS ET CONNAISSANCE DE LA ZONE COTIERE

La mise en œuvre d'une GIZC efficace et opérationnelle implique de disposer d'une connaissance cohérente et partagée décrivant l'état de l'environnement côtier, les activités qui s'y déroulent et les enjeux dont il est l'objet. Pour répondre à ce besoin, les indicateurs environnementaux se sont largement répandus dans le champ institutionnel et de la recherche durant les dernières décennies.

1. Intérêt des indicateurs pour la connaissance de l'environnement

Le concept de développement durable, largement popularisé à la suite du rapport Brundtland en 1987 et depuis le Sommet de la Terre de Rio en 1992, insiste sur l'intégration des facteurs environnementaux, économiques et socio-culturels pour l'analyse et la gestion des éco-socio-systèmes. C'est dans ce contexte que la production d'indicateurs s'est imposée de manière à alimenter la réflexion en vue d'une stratégie de gestion efficace (Bowen et Riley, 2003 ; Geniaux, 2006).

1.1. Les indicateurs : définition et finalités

Un indicateur est un outil d'évaluation et d'aide à la décision, une représentation simplifiée d'une réalité complexe. Quantitatif ou qualitatif, il est souvent assimilé à une mesure, une variable, un paramètre, et participe à une construction empirique visant à comprendre les dynamiques du système en analyse (Bowen et Riley, 2003). Son suivi dans le temps et/ou dans l'espace permet d'apprécier de façon synthétique la situation et/ou l'évolution d'un phénomène. L'indicateur est le résultat de l'analyse de données plus ou moins traitées. Par exemple, pour évaluer le niveau d'artificialisation de la zone côtière, il est nécessaire de disposer en amont de données cohérentes et comparables relatives à l'occupation et à l'utilisation des sols à plusieurs dates (figure 6).

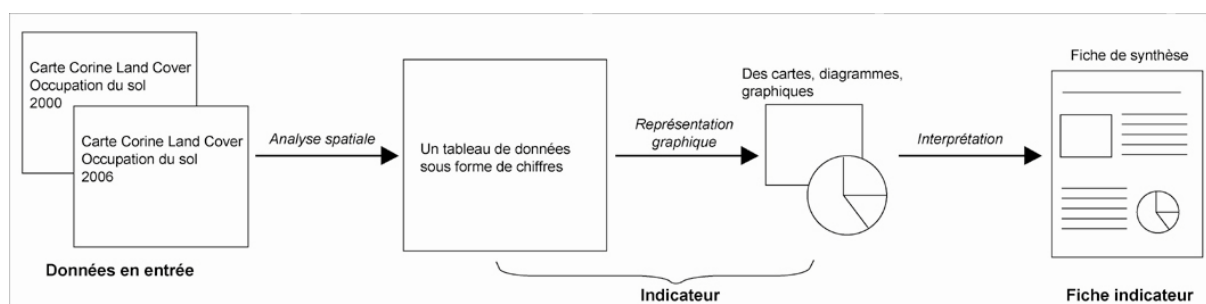


Figure 6 : Des données aux indicateurs.

L'interprétation de cet indicateur permet d'établir un diagnostic en utilisant d'autres données explicatives. Dans le cas de notre exemple, si les espaces littoraux se sont fortement artificialisés entre les deux dates, on peut en déduire qu'il existe une pression anthropique

forte sur ce littoral. Ainsi, « un indicateur peut être constitué de n'importe quelles données ou variables, transformées, normalisées ou pas, jugées pertinentes pour rendre compte d'un phénomène » (Geniaux, 2006).

Un indicateur a plusieurs finalités :

- Il permet d'apporter des informations sur une question donnée en simplifiant la réalité, puisqu'il se concentre uniquement sur certains aspects de la question considérés comme pertinents. Selon l'(OCDE, 1998), un bon indicateur permet de réduire le nombre de mesures nécessaires à une exacte représentation de la situation, et de simplifier la communication entre les gestionnaires, les parties prenantes et la société civile dans un cadre de gestion concertée.
- Les informations apportées par les indicateurs peuvent aider à la décision dans le cadre d'un processus de gestion, et permettent de contrôler les effets de la réponse gestionnaire (Smeets et Weterings, 1999).
- Un indicateur est un outil de communication et de sensibilisation à destination des gestionnaires, des acteurs, du grand public. La communication autour d'un indicateur a parfois des conséquences sur les comportements individuels dès lors qu'il est partagé par un grand nombre d'individus, et peut devenir une variable d'ajustement des comportements (Geniaux, 2006).

1.2. Intérêt des indicateurs environnementaux

Les indicateurs environnementaux constituent le socle de connaissance nécessaire à la mise en place d'une stratégie de développement durable réellement efficace. Ils permettent également de valider la performance des politiques dans une perspective de développement durable, et de jouer un rôle de pilotage et de rétro-correction de ces politiques¹³. Les indicateurs environnementaux n'ont pas tous la même finalité, certains ont pour but d'évaluer la performance d'un programme, d'autres visent à mettre en évidence les liens entre les activités anthropiques et l'état de l'environnement ou à suivre l'évolution des tendances et les dynamiques des écosystèmes et des ressources (Bowen et Riley, 2003).

Afin d'intégrer les aspects socio-économiques et politiques dans une perspective de développement durable, la plupart des indicateurs développés dans le cadre de l'évaluation et du suivi des dynamiques environnementales dans les pays européens s'appuient sur le modèle DPSIR (Drivers – Pression – State – Impacts – Response). Utilisé par l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) depuis 1995 (Smeets et Weterings, 1999), ce modèle est dérivé du modèle Pression Etat Réponse (PSR)¹⁴ développé par l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). Ce modèle propose un système d'analyse des problèmes environnementaux centré sur les activités humaines, selon lequel les développements économiques et sociaux (Force motrice, D) exercent des Pressions (P)

13. La reconnaissance du rôle des indicateurs comme outil d'évaluation est formulé dans le chapitre 40 de l'Agenda 21. Il y est également recommandé aux pays du globe d'harmoniser leurs efforts pour développer des indicateurs de développement durable à différentes échelles, une partie de ces indicateurs étant commune à tous, régulièrement mis à jour et dont les résultats seraient largement diffusés (<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/french/action40.htm>).

14. Le modèle PSR est un modèle économique développé pour représenter les pressions exercées par l'activité humaine sur l'environnement, l'état de l'environnement qui en résulte, et les réponses apportées par les entreprises.

sur l'environnement, et par conséquent, l'Etat (S) de l'environnement change. Il conduit à évaluer des Impacts (I) sur la société humaine et les écosystèmes, qui peuvent déclencher des Réponses politiques (R) (adaptation, réhabilitation) (figure 7).

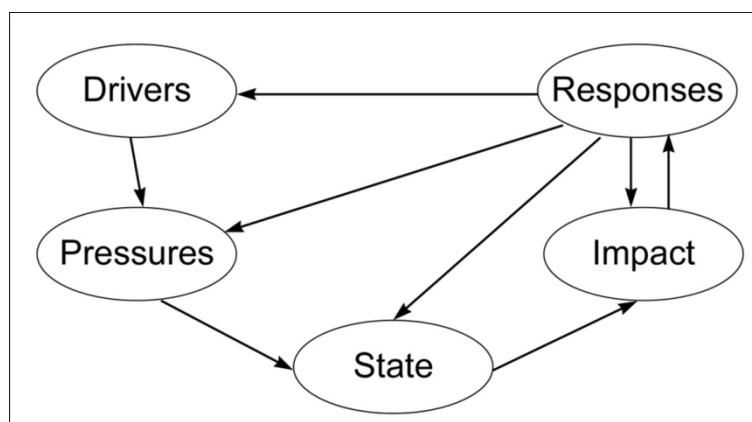


Figure 7 : Le modèle DPSIR (Smeets et Weterings, 1999).

Ce modèle est souvent utilisé dans le cadre de problématiques environnementales (qualité des eaux, développement durable), et en particulier côtières (Borja *et al.*, 2006 ; Pirrone *et al.*, 2005 ; Maxim *et al.*, 2009 ; Svarstad *et al.*, 2008). Toutefois, l'efficacité de ce modèle en tant qu'outil d'analyse est aujourd'hui discuté (Maxim *et al.*, 2009 ; Svarstad *et al.*, 2008).

2. Indicateurs et GIZC en Europe

Les indicateurs environnementaux sont employés à l'échelle européenne pour l'évaluation de l'état des zones côtières dans le cadre de la GIZC. Ces indicateurs sont utiles à la fois pour mesurer l'état de l'environnement littoral, pour évaluer son évolution et ainsi mesurer l'efficacité des politiques publiques, pour diffuser les informations au grand public, mais également pour réaliser une évaluation institutionnelle de la mise en œuvre de la GIZC en Europe. A l'échelle européenne, le programme Deduce a permis de proposer une série de 27 indicateurs et la méthodologie nécessaire à leur mise en œuvre pour mesurer et surveiller le développement durable des littoraux européens. A l'échelle de la France métropolitaine, l'Observatoire du Littoral effectue un important travail de collecte d'informations et de renseignements d'indicateurs sur l'état du littoral et sur la nature des pressions s'y exerçant.

2.1. Information géographique et GIZC

Il a été démontré que le recours aux Technologies de l'Information Géographique est d'un intérêt majeur pour l'étude et pour la gestion de l'environnement littoral (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; Bartlett et Smith, 2004). Les potentialités offertes par ces technologies, et notamment par les Systèmes d'Information Géographique, se sont accrues depuis les années 1990, de par l'augmentation des données d'observation produites, la capacité des outils de stockage et de traitement et la banalisation de leur utilisation par un vaste public (Gourmelon *et al.*, 2005a). La place de plus en plus grande prise par les Systèmes d'Information Géographique

dans les processus de GIZC témoigne de l'intérêt porté à ces outils par les gestionnaires, les décideurs, les acteurs de la zone côtière. Les SIG permettent de structurer l'information géographique nécessaire à la gestion d'un territoire côtier (Le Berre *et al.*, 2008 ; Le Berre *et al.*, 2010), de diffuser l'information et de la rendre accessible au plus grand nombre (Bourcier et Deprez, 2007 ; Jude *et al.*, 2006). En 2002, la Recommandation Européenne 2002/413/CE relative à la mise en œuvre de la GIZC¹⁵ a encouragé les Etats membres à rendre compte de l'état du littoral, sur la base d'informations objectives et scientifiquement fondées pour surveiller et évaluer le développement durable sur le littoral. En France, le rapport Bersani (2006) relatif au schéma d'organisation des dispositifs de recueil de données et d'observation sur le littoral révélait les lacunes en matière de données relative à la zone côtière française : le manque d'un véritable référentiel géographique pour le littoral français, et les modalités disparates d'accès aux données publiques ne favorisant pas le partage d'une information commune, et ce malgré une grande diversité des productions de données aux échelles locales et régionales.

Depuis ce rapport, des efforts de catalogage et de mutualisation des données produites ont été effectués, aidés en ce sens par l'émergence du web dit « 2.0 » basé sur une plus grande interaction et participation des utilisateurs. Ainsi le Géoportail¹⁶ lancé en juin 2006, développé par l'Institut Géographique National (IGN) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) en réponse à la directive européenne Inspire¹⁷, se présente sous la forme d'un catalogue en ligne permettant d'accéder à un grand nombre de données produites par l'Etat, ses services déconcentrés et par les collectivités territoriales. Un certain nombre de données peuvent également être visualisées en ligne grâce à un outil de cartographie interactive¹⁸ (carte topographiques IGN, photographies aériennes, surfaces bâties, parcelles cadastrales, etc). C'est également dans ce contexte qu'a été créé l'Observatoire du Littoral, dont les principales missions consistent à collecter, traiter, synthétiser et diffuser des informations relatives au littoral français métropolitain et ultra-marin.

2.2. Finalité des indicateurs pour la connaissance de la zone côtière

Une gestion intégrée des zones côtières efficace et appropriée implique de connaître les liens et interdépendances entre le système social et l'environnement littoral. Dans ce contexte, les indicateurs de développement durable constituent un outil a priori adapté à la démarche proposée par la GIZC, tant pour l'évaluation de la durabilité et des politiques que pour la diffusion des informations auprès de l'ensemble des acteurs des zones côtières. Ils interviennent aux deux extrémités du cycle des politiques et à chacune de leurs étapes. Des stratégies clairement énoncées et des politiques et plans d'action bien centrés génèrent des indicateurs facilement identifiables qui contribuent à leur tour à évaluer et réviser les politiques mises en place.

15. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002H0413:FR:HTML>.

16. <http://www.geoportail.fr>.

17. La directive européenne 2007/2/CE INSPIRE¹⁷ adoptée en 2007 vise à favoriser le partage, l'accessibilité, l'échange et la mise à jour des données spatiales en matière d'environnement dans l'ensemble des pays européens. A ce titre, elle crée un certain nombre d'obligations pour les Etats membres, dont entre autre la fourniture de données de référence, le recensement de données et la production de catalogues de métadonnées, l'application de règles d'interopérabilité.

18. <http://www.geoportail.fr/5061750/visu2D/voir.htm>.

Un certain nombre d'indicateurs mis en place par la communauté des gestionnaires et relatifs à la GIZC concernent l'évaluation institutionnelle du processus (Hénocque, 2003 ; Pickaver *et al.*, 2004). Sans remettre en question l'importance d'indicateurs de mise en place et de suivi du processus de GIZC, il est aussi nécessaire de s'intéresser aux résultats produits par le programme de gestion au niveau environnemental et humain en tant que moyen d'en mesurer l'efficacité et la progression. De nombreux auteurs insistent sur cette nécessité d'évaluer l'efficacité de la GIZC à l'aide d'indicateurs de progrès, mais soulignent toutefois le manque d'intérêt globalement accordé au contrôle des résultats de la GIZC au détriment d'indicateurs institutionnels chargés d'évaluer la progression dans la mise en place des programmes de gestion intégrée ou les progrès effectués en termes de gouvernance (Bowen et Riley, 2003 ; Hershman *et al.*, 1999 ; McFadden, 2007). Les liens et interactions entre systèmes sociaux et variabilité environnementale sont moins étudiés, connus et mesurés, en partie en raison de la difficulté de modéliser ces liens et interactions dans un système complexe comme la zone côtière.

Le plus souvent les jeux d'indicateurs sont adaptés aux spécificités locales car élaborés pour répondre à une problématique spécifique dans un secteur donné (Banos, 2001). Dans une perspective d'intégration des démarches relatives à la gestion de la zone côtière, il est nécessaire de réfléchir à une homogénéisation des jeux d'indicateurs utilisés. Les efforts récents développés en matière de réflexion autour des liens d'interdépendances entre données socio-économiques et environnementales ont permis d'engager une démarche plus stratégique pour la définition d'indicateurs socio-économiques dédiés à la zone côtière (Bowen et Riley, 2003).

2.3. Les principaux indicateurs utilisés pour la connaissance et la gestion des zones côtières

2.3.1. A l'échelle européenne

A la suite à la recommandation européenne de 2002 relative à la mise en œuvre d'une GIZC en Europe, un groupe de travail européen « Indicateurs et données » a été mis en place. Ses travaux ont abouti à la proposition d'une série d'indicateurs ayant pour but de mesurer et surveiller le développement durable sur les littoraux européens. Ces indicateurs sont au nombre de 27, subdivisés en 45 mesures. De nature diverse (sociaux, économiques, environnementaux), ils sont adaptés aux spécificités et enjeux des territoires littoraux, et sont regroupés selon les sept grands principes définis par la recommandation (tableau 1).

Principe GIZC	Indicateur	Mesure
1 - Maîtriser du mieux possible le développement à venir du littoral	1 - Demande de propriété sur la côte	- Taille, densité et structure de la population vivant sur le littoral - Valeur de l'immobilier
	2 - Zones de terrains bâtis	Parts de terrain bâtis sur le trait de côte suivant la distance à la mer
	3 - Taux d'artificialisation des terrains non bâtis	Conversion des terrains non bâtis en terrains bâtis
	4 - Demande de réseau routier sur le littoral	Trafic sur les autoroutes et les routes nationales côtières
	5 - Pression exercée par les activités nautiques côtières	Nombre de mouillages pour la navigation de plaisance
	6 - Terres concernées par l'agriculture intensive	Proportion de terres cultivées de manière intensive
2 - Protéger, améliorer et célébrer la diversité naturelle et culturelle	7 - Quantité d'habitats semi-naturels	Zones d'habitats semi-naturels
	8 - Terrains protégés sur terre comme en mer	Zones protégées pour la conservation de la nature, du paysage et du patrimoine
	9 - Efficacité de la gestion des sites protégés	Taux de perte ou de dommages sur les zones protégées
	10 - Evolution des espèces et habitats côtiers et marins importants	- Etat et tendance des espèces et habitats - Nombre d'espèces par type d'habitats - Nombre d'espèces littorales présentes sur les listes rouges des espèces menacées
	11 - Perte de diversité culturelle	Nombre et valeur des produits locaux portant le label de qualité régional ou le label PDO / PGI / TSG européen
3 - Promouvoir et soutenir une économie côtière durable et dynamique	12 - Modèle d'emploi par secteur	- Temps plein, partiel ou saisonnier par secteur d'activité - Valeur ajoutée par secteur d'activité
	13 - Trafic portuaire	- Nombre de passagers entrant et sortant par ports - Volume total des marchandises par port - Proportion des marchandises transportées par voies maritimes courtes
	14 - Intensité du tourisme	- Nombre de nuitées dans des logements touristiques - Taux d'occupation des lits touristiques
	15 - Tourisme durable	- Nombre de logements touristiques portant l'écolabel de l'Union Européenne - Rapport entre le nombre de nuitées touristiques et le nombre de résidents
4 - Garantir la propreté des plages et le respect des eaux littorales	16 - Qualité des eaux de baignade	Pourcentage des eaux de baignade conforme à la valeur de référence de la directive européenne sur les eaux de baignade
	17 - Quantité de déchets côtiers, marins et estuariens	Volume des déchets ramassés par unité de longueur du littoral
	18 - Concentration des nutriments dans les eaux côtières	Concentration des nitrates et phosphates dans les eaux côtières
	19 - Niveau de pollution par les hydrocarbures	- Volume des déversements accidentels d'hydrocarbures - Nombre de nappes de pétrole observées par les patrouilles aériennes
5 - Réduire l'exclusion sociale et promouvoir la cohésion sociale au sein des communautés littorales	20 - Degré de cohésion sociale	Indice d'exclusion sociale
	21 - Prospérité des ménages	- Revenu moyen des ménages - Pourcentage de la population possédant une formation supérieure
	22 - Résidences principales et secondaires	Part des résidences secondaires sur l'ensemble des logements
6 - Utiliser les ressources naturelles de manière durable	23 - Débarquement de poisson	- Etat des principaux stocks de poisson par espèces et zones de pêche - Recrutement et biomasse des reproducteurs par espèces - Débarquement et mortalité des poissons par espèces - Valeur des débarquements par port et par espèce
	24 - Consommation d'eau	Nombre de jours d'approvisionnement en eau réduit
7 - Reconnaître la place du littoral suite au changement climatique et assurer sa protection durable	25 - Augmentation du niveau de la mer et conditions climatiques extrêmes	- Nombre de jours de tempête - Augmentation du niveau de la mer
	26 - Erosion et accrétion côtière	- Longueur du littoral artificialisé - Longueur du littoral dynamique - Zone et volume de sédiments apportés pour reconstituer les plages
	27 - Atouts naturels, humains et économiques en danger	- Nombre de personnes vivant dans une zone à risque - Espaces protégés situés dans une zone à risque - Valeur des atouts économiques dans les zones à risque

Tableau 1 : Liste des 27 indicateurs utilisés dans le cadre du programme Deduce.

Débuté en janvier 2004 et achevé en juin 2007, le programme Interreg « Deduce » (DEveloppement DURable des Côtes Européennes) a eu pour objectif de faire tester ces 27 indicateurs par plusieurs Etats membres de l'UE. Il a regroupé neuf partenaires appartenant à six Etats membres : deux communes catalanes, l'Institut Français de l'Environnement (IFEN)¹⁹, le ministère de l'Environnement et du Logement catalan, l'Autorité de Malte pour l'Environnement et la Planification, la région de Flandre occidentale, les universités de Lettonie et de Gdansk en Pologne, et le Centre thématique européen « Environnement terrestre » (Deduce consortium, 2007). Les tests ont permis de mettre en évidence les forces et les faiblesses de chaque indicateur. Ils ont aussi débouché sur la rédaction de notes de spécification des calculs à effectuer et sur la publication de fiches reprenant les principaux

19. Créé en 1991, l'IFEN était l'organisme correspondant pour la France de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) chargée de l'évaluation et de l'observation de l'environnement. Il avait pour mission de collecter des données, de les traiter, et de délivrer une information fiable concernant l'environnement. L'IFEN a été supprimé par décret en 2008, et ses missions ont été redistribuées entre le Commissariat Général au Développement Durable et le Service de l'Observation et des Statistiques de l'Environnement rattaché au Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (SOeS).

résultats obtenus, sur la définition d'une méthodologie pour aider les gestionnaires à rédiger des rapports sur l'état du littoral à partir d'indicateurs, et sur la rédaction d'une notice technique d'utilisation des 27 indicateurs²⁰ (figure 8) (Deduce consortium, 2007).

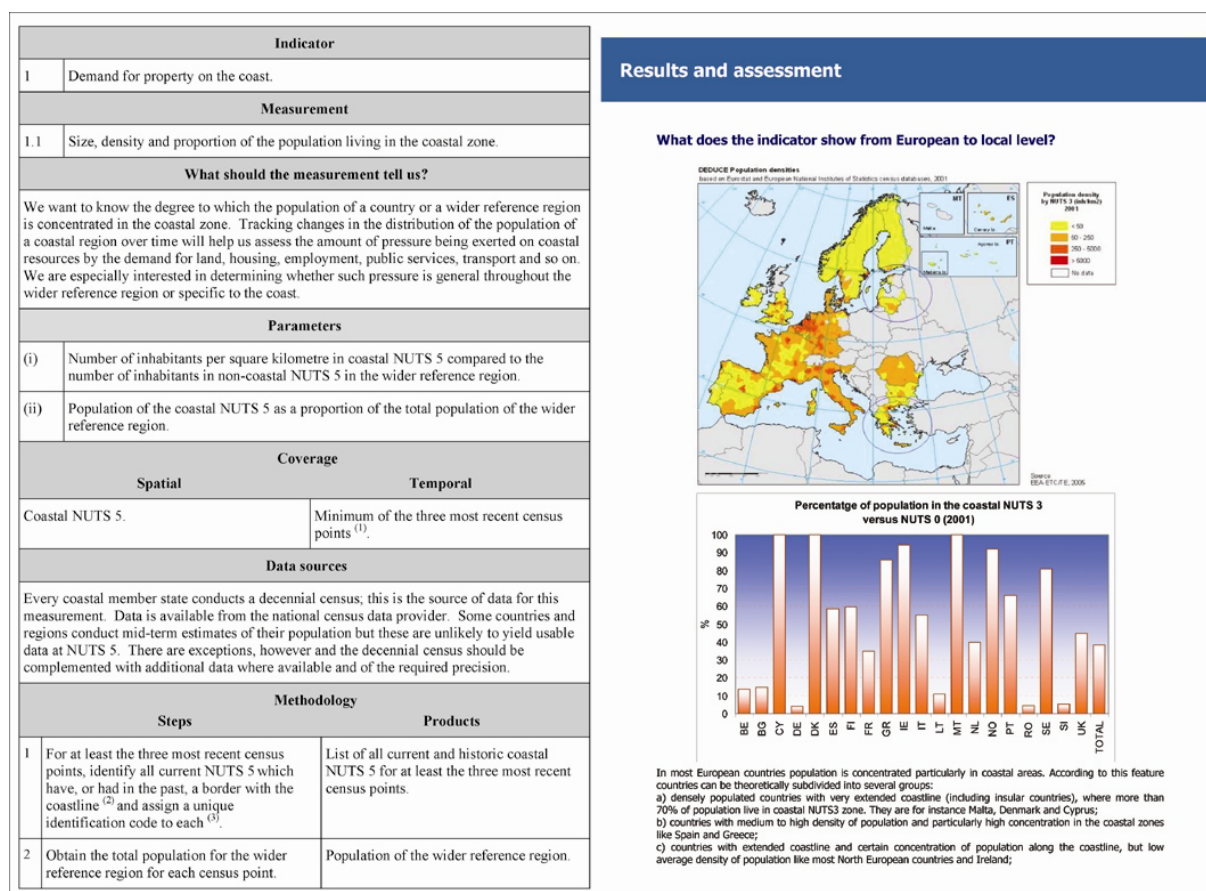


Figure 8 : Exemple de fiche méthodologique et de résultat issus du programme Deduce.

La finalité du programme Deduce était de proposer des indicateurs « de base » harmonisés pour permettre aux pays européens d'acquérir des données relatives à la gestion intégrée de leur zone côtière, et d'en comparer l'avancement et les résultats. D'un point de vue pratique, l'un des objectifs de Deduce était de poser les bases pour la mise en œuvre d'un observatoire interrégional du littoral européen (Observatoire du Littoral, 2007), qui n'a pas encore été créé à ce jour.

20. L'ensemble de ces résultats et les rapports finaux sont disponibles à l'adresse www.deduce.eu.

2.3.2. En France

L'Observatoire du Littoral²¹ a été créé en 2004 par l'IFEN dans le cadre d'une convention interministérielle associant la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT, aujourd'hui redevenue DATAR), les ministères chargés de l'Environnement, de l'Équipement, et le Secrétariat Général de la Mer. Après la disparition de l'IFEN en 2008, l'Observatoire du Littoral a été rattaché au Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS)²² et constitue un des sous-ensembles de l'Observatoire des Territoires²³ piloté par la DATAR. Les missions de l'Observatoire du Littoral sont de suivre les évolutions du littoral français²⁴, de collecter, traiter, synthétiser les données existantes, et de les diffuser le plus largement possible par le biais de publications et d'un site internet. Un des objectifs de l'Observatoire est de permettre à l'ensemble des acteurs du littoral français de disposer d'information sur l'état du littoral et sur les politiques mises en place. L'observatoire a également une mission de mutualisation et de diffusion des données acquises sur le littoral français par les administrations concernées, et contribue aux réflexions sur l'homogénéisation des protocoles de collecte et de traitements des données.

Afin de disposer d'une vision globale et synthétique des enjeux littoraux, 36 indicateurs environnementaux sont à ce jour régulièrement renseignés et suivis par l'Observatoire (tableau 2). Ils couvrent l'ensemble des thématiques littorales majeures comme la démographie, la biodiversité, la construction et l'immobilier, l'agriculture, la qualité de l'eau, les risques, l'occupation des sols. Chaque indicateur est présenté sous la forme d'une fiche détaillée, et les informations sont diffusées via le site internet de l'Observatoire²⁵. En complément, le site dispose également d'un module de cartographie interactive²⁶.

21. <http://www.littoral.ifen.fr/Accueil.59.0.html>.

22. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>.

23. <http://www.territoires.gouv.fr/observatoire-des-territoires/fr/node>.

24. Le champ d'étude de l'Observatoire du Littoral couvre l'ensemble du littoral métropolitain (départements littoraux). Il est ponctuellement élargi aux littoraux des départements d'outre-mer.

25. <http://www.littoral.ifen.fr/Indicateurs.8.0.html>.

26. <http://www.littoral.ifen.fr/Cartographie.6.0.html>.

Agriculture <ul style="list-style-type: none"> - Activités touristiques des exploitations agricoles - Evolution de la Surface Agricole Utilisée des exploitations agricoles - Pression foncière dans les cantons littoraux - Typologie socio-économique des exploitations agricoles - Typologie des cultures sur le littoral 	Population et démographie <ul style="list-style-type: none"> - Age des habitants sur le littoral - Soldes naturels et migratoires sur le littoral - Densité de population des communes littorales - Revenu fiscal médian et rapport inter-déciles - Evolution de la population
Construction et logements <ul style="list-style-type: none"> - Typologie des résidences principales - Construction de logements - Types de logements construits - Construction de locaux - Densité de la construction 	Qualité de l'eau <ul style="list-style-type: none"> - Qualité des eaux de baignade en mer
Economie / Emploi <ul style="list-style-type: none"> - Emploi sur le littoral - Sphères d'emploi - Secteurs d'emploi sur le littoral - Typologie de l'emploi des actifs littoraux - Economie maritime, hors tourisme 	Risques <ul style="list-style-type: none"> - Erosion côtière sur le littoral métropolitain en 2003 - Risques industriels - Arrêtés de catastrophe naturelle dans les communes littorales - Population présente tout au long de l'année dans les départements littoraux métropolitains
Immobilier <ul style="list-style-type: none"> - Prix des appartements anciens 	Tourisme <ul style="list-style-type: none"> - Typologie touristique des communes littorales - Hébergement marchand sur le littoral
Nature et biodiversité <ul style="list-style-type: none"> - Habitats côtiers d'intérêt communautaire - Milieux naturels des communes littorales - Oiseaux d'eau hivernant sur le littoral - Protection de la nature - Milieux naturels protégés suivant la distance à la mer - Sites Natura 2000 ayant tout ou partie de leur surface en mer 	Transports <ul style="list-style-type: none"> - Trafic de marchandises dans les ports français
	Utilisation du territoire <ul style="list-style-type: none"> - Occupation du sol en fonction de la distance à la mer - Occupation du sol dans les communes littorales

Tableau 2 : Liste des fiches indicateurs disponibles sur le site internet de l'Observatoire du Littoral.

Ces indicateurs ont fourni un grand nombre d'informations pour la rédaction du volet diagnostic du rapport de la DATAR « Construire ensemble un développement équilibré du littoral » (DATAR, 2004). Les travaux de l'Observatoire du Littoral sur l'agriculture dans les communes littorale via les indicateurs ont ainsi alimenté la partie relative à l'agriculture sur le littoral français métropolitain. De même, les indicateurs relatifs à la construction dans les communes littorales ont été réinjectés dans le rapport de la DATAR dans la partie dédiée au rythme de la construction d'habitations et de locaux sur le littoral français métropolitain (DATAR, 2004).

Par son intégration au SOeS, l'Observatoire est en outre devenu une base d'information gouvernementale. Suite aux réflexions issues du Grenelle de la Mer en juillet 2009, l'Observatoire du Littoral a vocation à évoluer vers un Observatoire national de la mer et du Littoral pour intégrer la prise en compte de la partie maritime du littoral.

3. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols : un indicateur pertinent ?

La pression anthropique exercée sur les zones côtières à travers le monde est globalement de plus en plus forte, et la densité de population sur les littoraux ne cesse d'augmenter. Les conséquences de cette présence humaine sur les écosystèmes côtiers sont nombreuses et le plus souvent délétères. Les déséquilibres induits contribuent à fragiliser ce système au

fonctionnement complexe fondé sur de nombreuses interactions et rétroactions entre ces diverses composantes. Dans ce contexte, les changements d'occupation des sols sont une des manifestations des interactions entre l'homme et son environnement (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 2007). La connaissance des changements d'occupation des sols en zone côtière représentent de fait une voie pertinente pour la connaissance des écosystèmes côtiers complexes. Cette connaissance est également la base nécessaire à l'élaboration de modèles à but prospectifs ou prédictifs, après identification des facteurs ayant abouti aux changements d'occupation des sols observés.

En outre la mise en œuvre de la GIZC implique la mise en commun d'outils et de connaissances sur le territoire concerné, sur ses caractéristiques, sur ses acteurs, ses enjeux. Les indicateurs proposés par le programme Deduce et élaborés pour le littoral français par l'Observatoire du Littoral participent à l'élaboration et à la mutualisation des connaissances. Mais dans ce contexte, la connaissance de l'occupation des sols et l'analyse des changements d'occupation des sols sont d'autant plus pertinents qu'ils contribuent à fournir des éléments pour l'établissement de diagnostics et l'élaboration de perspectives environnementales.

A titre d'exemple, on peut citer plusieurs initiatives engagées dans cette voie et à différentes échelles : européenne avec la base de données CORINE Land Cover (qui décrit l'évolution de l'occupation des sols de 28 pays européens depuis 1990, mais qui n'est pas spécifiquement dédiée aux zones côtières), nationale avec le programme Litto-Mos qui organise la mise à jour de l'IPLI via l'harmonisation d'initiatives régionales, et la déclinaison régionale de la mise à jour de l'IPLI à l'échelle de la Bretagne par la Direction régionale de l'équipement (cf p.53).

CHAPITRE 3 – LES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS

La problématique des changements globaux est actuellement au centre des intérêts de la communauté scientifique – comme en témoignent les très nombreuses contributions relatives à cette problématique – mais également de la société civile (conférence de Copenhague en décembre 2009²⁷). Parmi les très nombreux aspects que cette question recouvre, le rôle clé des changements d'occupation et d'utilisation des sols dans l'évolution des écosystèmes a été démontré, tant à l'échelle globale que locale (Lambin et Geist, 2006 ; Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 1995). Les changements subis par la surface de la planète se sont considérablement accélérés depuis le milieu du 19^{ème} siècle et la révolution industrielle ; affectant aujourd'hui certains éléments clés du fonctionnement global de la Terre (Vitousek *et al.*, 1997 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Lambin et Geist, 2007). La connaissance et le suivi de ces transformations représentent un enjeu majeur pour l'évaluation de problèmes environnementaux globaux tels que la dégradation des écosystèmes, mais également pour la connaissance des processus à l'œuvre aux échelles régionales et locales (Lambin et Geist, 2006 ; Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 2007).

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols sont le produit de la combinaison de très nombreuses interactions entre la sphère anthropique et l'environnement. Les principaux facteurs et les principaux impacts des changements d'occupation des sols à l'échelle globale sont aujourd'hui identifiés grâce aux données satellitaires et aux méthodes éprouvées pour produire une information homogène et exploitable, décrivant des changements affectant de vastes superficies (Lepers *et al.*, 2005). Mais l'étude des changements d'occupation des sols à l'échelle locale présente également des enjeux majeurs. En effet la connaissance de ces changements de faible amplitude spatiale et temporelle contribue à fournir des éléments pertinents pour l'établissement de diagnostics et l'élaboration de perspectives environnementales, et permettent d'améliorer les connaissances sur les fonctionnements parfois complexes des systèmes homme-environnement. Toutefois la production de données homogènes et actualisées reste problématique à cette échelle.

1. Définitions

1.1. Précisions sémantiques

L'étude des changements d'occupation et d'utilisation des sols est désignée par le terme « Land Change Science » dans la littérature scientifique anglo-saxonne (Turner *et al.*, 2007 ; Gutman *et al.*, 2004). En français, les termes « occupation des sols » et « utilisation (ou usage) des sols » sont de plus en plus fréquemment utilisés du fait de la multiplication des inventaires relatifs à la couverture de la surface terrestre. Ces notions désignent pourtant deux aspects différents de la couverture des sols.

L'occupation des sols fait couramment référence à la couverture physique de la surface terrestre, tandis que l'utilisation / usage des sols se rapporte à l'usage anthropique qui en est

27. <http://www.denmark.dk/en/menu/Climate-Energy/COP15-Copenhagen-2009/cop15.htm>.

fait, et donc plus spécifiquement à la description socio-économique des surfaces terrestres (Brown et Duh, 2004 ; Cilhar et Jansen, 2001 ; Di Gregorio et Jansen, 1998) (figure 9). De manière générale, l'occupation des sols distingue plusieurs catégories biophysiques : les zones de végétation (arbres, buissons, herbe), les sols nus, les surfaces dures (roches, surfaces bâties), les surfaces humides, et les plans d'eau (Hubert-Moy, 2004). L'utilisation des sols est souvent plus difficile à déterminer, car elle dépend de l'usage socio-économique qui est fait des terres (Turner *et al.*, 1993). Dans le cas du traitement d'une image satellitaire, l'occupation des sols pourra être déterminée à partir du signal spectral correspondant à la nature des sols tandis que la caractérisation de l'utilisation des sols devra faire appel à des informations complémentaires que l'image seule ne peut apporter. Les liens entre occupation et utilisation des sols peuvent cependant être établis, et il est par exemple possible de déduire une utilisation probable des sols à partir de données relatives à l'occupation des sols et inversement (Brown et Duh, 2004 ; Cilhar et Jansen, 2001). Mais ces liens sont variables ; un même type d'occupation des sols pouvant avoir une fonction et une utilisation différentes en fonction du contexte économique, spatial et temporel. La figure 9 montre que l'utilisation des sols peut modifier directement l'occupation des sols ou, de manière plus indirecte, son environnement – traduisant ainsi l'influence du sous-système société sur le sous-système environnement. Elle montre aussi que l'occupation des sols peut déterminer l'usage des sols et que des effets de rétroactions sont donc possibles.

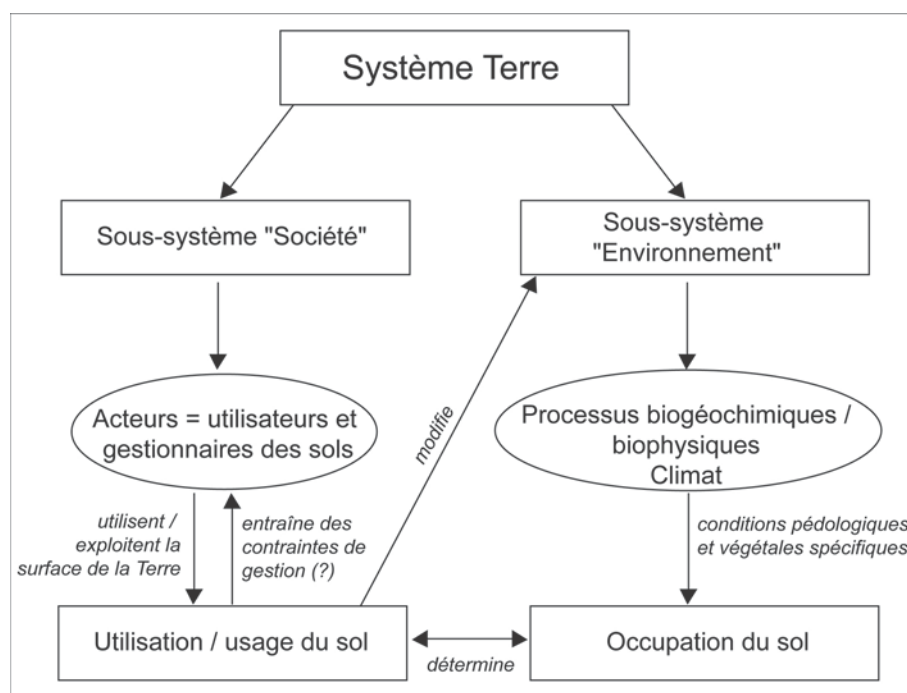


Figure 9 : Cadre conceptuel de l'occupation et utilisation des sols (modifié de Hubert-Moy, 2004).

Il n'existe pas actuellement de typologie universelle pour décrire l'occupation et l'utilisation des sols. Les études locales et régionales sont souvent mises en œuvre pour répondre à une problématique particulière, ce qui aboutit à la multiplication de typologies spécifiques et détaillées (Turner *et al.*, 2007). En outre les inventaires des surfaces terrestres associent parfois les deux champs sémantiques de l'occupation et de l'utilisation des sols au sein

d'une même typologie (c'est le cas de l'inventaire CORINE Land Cover). La typologie retenue dans le cadre notre étude appartient à cette catégorie d'inventaire « mixte ». Cependant les dimensions économiques et sociales liées à l'usage des sols dans le Pays de Brest ont été très peu abordées, et nous ferons par conséquent référence par la suite à l'« occupation des sols » plutôt qu'à l'« utilisation des sols » pour décrire la couverture physique de notre zone d'étude.

1.2. Facteurs et impacts des changements d'occupation et d'utilisation des sols

1.2.1. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols au cœur d'un système complexe

L'occupation et l'utilisation des sols et leur évolution dans le temps sont au centre du Système Terre²⁸ décomposé en deux sous-systèmes : social (ou anthropique) et environnemental (ou écosystème) (figure 10). L'occupation et l'utilisation des sols se situent à l'interface de ces deux sous-systèmes, et résultent de nombreuses interactions entre systèmes sociaux et systèmes environnementaux évoluant au fil du temps. L'étude des changements subis par la couverture des sols permet de fait de mieux comprendre la relation qu'entretient l'homme avec son environnement (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 1995).

28. Les sciences du Système Terre (Earth System Science) désignent une approche globale et pluridisciplinaire de la planète Terre. La finalité de cette approche est de comprendre le fonctionnement de la Terre, considérée comme un système composé de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la lithosphère et de la biosphère, de saisir les dynamiques de ces quatre composantes et la façon dont elles interagissent (Lawton, 2001).

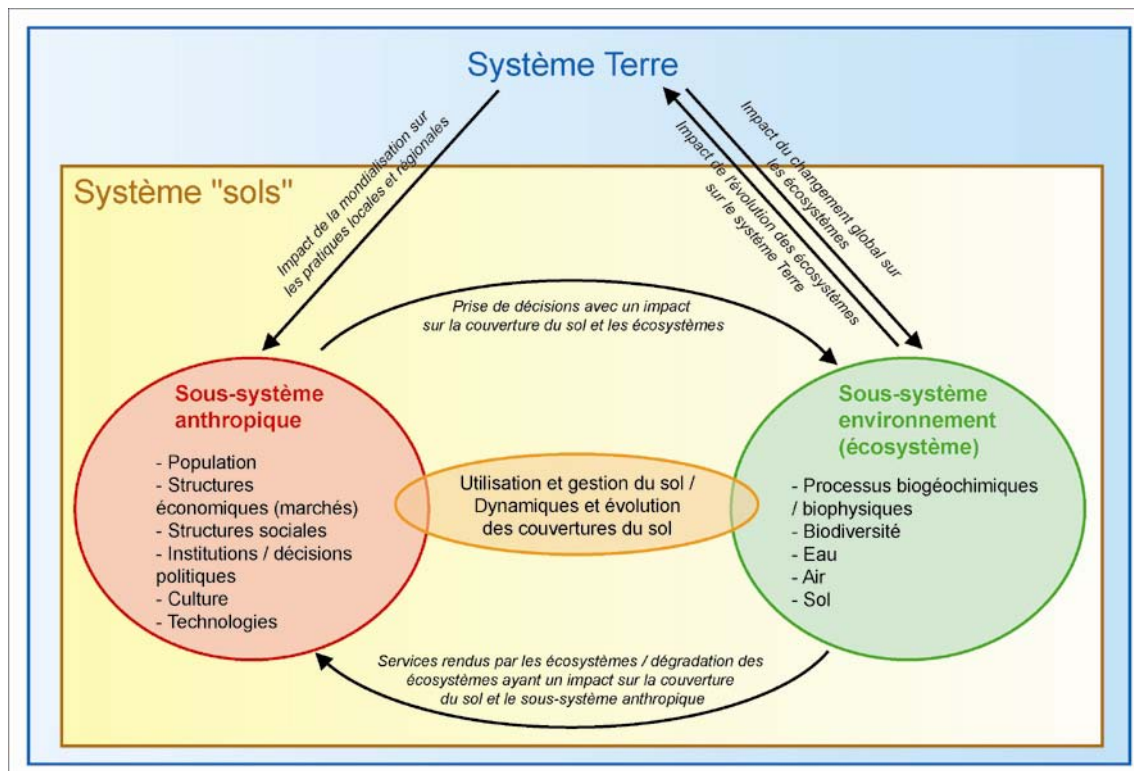


Figure 10 : Cadre conceptuel de l'occupation et utilisation des sols (d'après Steffen *et al.*, 2004 ; Ojima *et al.*, 2005).

Les interactions entre le Système Terre, la sphère anthropique et la sphère environnementale sont variables et complexes. Le Système Terre influe sur chacun des sous-systèmes, qui eux-mêmes interagissent l'un avec l'autre, et agissent en retour sur le Système Terre. De fait, les phénomènes climatiques ou biophysiques susceptibles de modifier l'occupation et l'utilisation des sols sont perturbés ou amplifiés par l'action de l'homme, qui exploite les écosystèmes pour en obtenir des biens et des services. Réciproquement, tout changement dans les modes d'occupation ou d'utilisation des sols a des impacts sur les processus qui contrôlent les écosystèmes, ce qui induit de fait des modifications au sein de ces écosystèmes, ainsi que sur les biens et services dont l'homme bénéficie (figure 10).

L'occupation et l'utilisation des sols évoluent dans le temps, sous l'action combinée de l'homme et de facteurs environnementaux. Pendant longtemps les phénomènes climatiques et biophysiques ont été le principal facteur de changement de l'occupation des sols, mais les usages anthropiques sont aujourd'hui un des vecteurs majeurs des transformations subies par la surface de la Terre (Lambin *et al.*, 2001 ; Turner *et al.*, 1993 ; Steffen *et al.*, 2004). Cette action morphogène de l'homme est relativement récente car elle n'a réellement débuté qu'à partir du Néolithique. Cependant, le cas des rives de la Méditerranée montre que, dès l'époque romaine, l'utilisation des sols et le défrichement intensifs à des fins essentiellement agricoles, ont abouti à un appauvrissement et à un démaigrissement pédologique, puis à une dégradation de la biocénose et du climax de la forêt de chênes verts (Demangeot, 2002). Les changements survenus durant les cinquante dernières années sont toutefois d'une ampleur sans précédent (Ojima *et al.*, 2005 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Lambin et Geist, 2007 ; Scouvar et Lambin, 2006) (figure 11). (Lambin et Geist, 2007 ; Scouvar et Lambin, 2006)

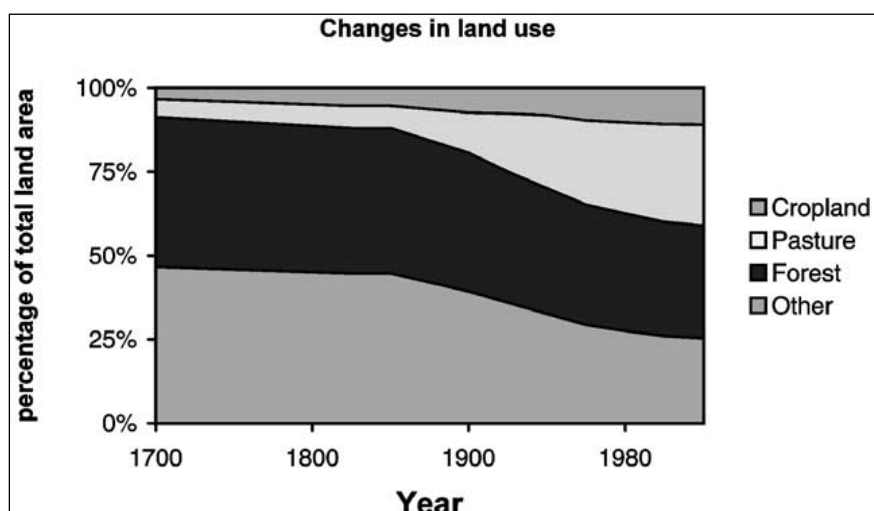


Figure 11 : Changements d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle globale depuis 1700 (Lambin *et al.*, 2001).

La déforestation tropicale, l'extension des pâturages, l'intensification de l'agriculture ou encore l'urbanisation sont identifiés comme étant les principaux types de changements d'occupation et d'utilisation des sols observables à l'échelle globale (Lambin *et al.*, 2001). Toutefois les changements d'occupation des sols sont de nature et d'ampleur très diverses, avec des causes et des impacts variables en intensité, dans le temps et l'espace. Cette complexité explique qu'ils échappent encore partiellement aux tentatives de théorisation (Lambin et Geist, 2006) et de modélisation (Turner *et al.*, 2007).

1.2.2. Facteurs de changements d'occupation et d'utilisation des sols

L'identification et la compréhension des facteurs susceptibles de modifier l'occupation et l'utilisation des sols à l'échelle globale constituent une dimension majeure de la recherche consacrée aux changements de la couverture des sols (Land Change Science). La mise en évidence des causes de ces changements était l'un des principaux objectifs du programme de recherche international Land Use Land Cover Changes (LUCC)²⁹ aujourd'hui achevé, mais dont les travaux ont très largement contribué à l'avancée des connaissances dans le domaine (Geist *et al.*, 2005). Le programme Global Land Project (GLP)³⁰ s'inscrit dans la continuité des travaux de LUCC. La stratégie de recherche de ce programme est conçue de façon à mieux intégrer la compréhension du système homme-environnement. Après avoir admis que l'action de l'homme sur la surface terrestre a des impacts très généraux sur le Système Terre et sur la façon dont le système homme / environnement s'adapte au changement global, le programme GLP a pour objectif de comprendre plus précisément

29. <http://www.igbp.net/page.php?pid=250>

Le programme Land Use and Land Cover Change (LUCC) est un programme international en partenariat avec l'*International Geosphere and Biosphere Program* (IGBP) lancé en 1994. L'objectif de ce programme était de comprendre comment les facteurs anthropiques et biophysiques affectaient l'utilisation, et par conséquent l'occupation des sols, et de cerner les conséquences environnementales et sociales de ces évolutions. Les conclusions de ce programme ont été synthétisées dans Lambin et Geist, 2006.

30. <http://www.globallandproject.org/background.shtml>.

comment les activités humaines impactent la couverture des sols (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 2007).

L'homme est actuellement identifié comme le principal responsable des modifications subies par le Système Terre (Vitousek *et al.*, 1997 ; Steffen *et al.*, 2004) ; il est également la cause première des changements d'occupation et d'utilisation des sols (Lambin et Geist, 2006 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Turner *et al.*, 1993). Les changements d'occupation et d'utilisation des sols résultent d'une très grande variété de facteurs, directs et indirects, qui varient en fonction de l'échelle d'analyse spatio-temporelle (Lambin et Geist, 2007 ; Scouvar et Lambin, 2006).

Les causes directes ou proximales de changement se situent le plus souvent au niveau local, et font référence aux actions anthropiques modifiant directement les couvertures des sols et les processus écosystémiques. Elles sont en grande partie contrôlables par les acteurs locaux. Les causes indirectes ou ultimes de changement viennent éclairer plus largement le contexte dans lequel s'effectuent ces modifications, et mettent en évidence les forces sous jacentes qui guident partiellement les causes directes. Elles sont souvent complexes à identifier, et sont le fruit de l'interaction de variables sociales, politiques, économiques, démographiques, technologiques, culturelles, biophysiques. Une partie de ces causes indirectes correspondant à des prises de décision à des échelles supra-locales, elles échappent partiellement au contrôle des acteurs locaux. Les facteurs de changements d'occupation et d'utilisation des sols sont également fonction des échelles spatio-temporelles d'analyse. Certains facteurs ont une portée dans le temps et dans l'espace plus limitée que d'autres. Des événements ponctuels sont susceptibles d'entraîner des changements, mais c'est également le cas d'évolutions structurelles plus lentes (Geist *et al.*, 2005).

Les résultats du programme LUCC (Lambin et Geist, 2006 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Geist *et al.*, 2005 ; Geist et Lambin, 2002) ont permis d'identifier les facteurs majeurs à l'origine des changements d'occupation des sols observables à l'échelle planétaire d'une part, et de montrer les limites des schémas d'analyse du type Pression-Etat-Réponse³¹ d'autre part, la réalité de la combinaison des facteurs de changements d'occupation des sols étant bien plus complexe.

Une typologie des principales causes de changements d'occupation et d'utilisation des sols identifiées à l'échelle du globe est proposée par Lambin et Geist (2007) : variabilité naturelle, facteurs économiques et technologiques, facteurs démographiques, facteurs institutionnels, facteurs culturels, facteurs liés au processus de mondialisation (tableau 3).

31. Le modèle Pression-État-Réponse (PER) est un modèle économique développé par l'OCDE pour représenter les pressions exercées par l'activité humaine sur l'environnement, l'état de l'environnement qui en résulte, et les réponses des entreprises. Le modèle PER comporte une série d'indicateurs environnementaux, qui peuvent être de l'un des trois types : Pression (par exemple croissance démographique, consommation), État (par exemple niveau de pollution de l'air, dégradation des sols, déforestation), Réponse (par exemple modifications des stratégies de gestion, augmentation des dépenses pour la recherche).

	Rareté de la ressource entraînant une pression de la production sur les ressources	Opportunités de changements créées par les marchés	Politiques d'intervention venant de l'extérieur	Perte des capacités d'adaptation et augmentation de la vulnérabilité	Changements dans l'organisation sociale, dans l'accès aux ressources, dans les attitudes
Lent	<p>Croissance naturelle de la population et division des parcelles</p> <p>Cycles de vie domestique menant à des changements dans la disponibilité du travail</p> <p>Perte de productivité des terres dans des secteurs sensibles consécutifs à un usage excessif ou inapproprié</p> <p>Impossibilité de restaurer ou maintenir des ouvrages de protection des ressources environnementales</p> <p>Important surplus d'extraction éloigné du gestionnaire des terres</p>	<p>Augmentation de la commercialisation et de l'agro-industrialisation</p> <p>Amélioration des conditions d'accessibilité via la construction de routes</p> <p>Changements des prix du marché pour les ressources en entrée et sorties du système (baisse des prix des productions primaires, conditions de commercialisation défavorables au niveau global)</p> <p>Possibilité de travail en dehors de l'exploitation agricole</p>	<p>Programme de développement économique</p> <p>Subventions "orientées", distorsion artificielle des prix et incitations fiscales</p> <p>Développement frontalier (pour des raisons géopolitiques ou pour promouvoir des groupes d'intérêt)</p> <p>Faible gouvernance et corruption</p> <p>Titularisation insécuritaire des terres</p>	<p>Appauvrissement (progression de l'endettement des ménages, absence d'accès au crédit, insuffisance des revenus alternatifs, faiblesse des capacités d'amortissement)</p> <p>Effondrement des réseaux informels de sécurité sociale</p> <p>Situation de dépendance pour les ressources extérieures ou pour l'assistance</p> <p>Discrimination sociale (minorités ethniques, femmes, classes sociales ou castes inférieures)</p>	<p>Evolution des institutions gérant l'accès aux ressources vers des gestionnaires des terres indépendants (passage d'une gestion communale à une gestion privée)</p> <p>Croissance de l'urbanisation</p> <p>Effondrement du système familial étendu</p> <p>Croissance de l'individualisme et du matérialisme</p> <p>Insuffisance de l'éducation publique et faiblesse de l'information sur l'environnement</p>
Rapide	<p>Migration spontanée, déplacement forcé de populations, réfugiés</p> <p>Baisse de la disponibilité des terres en raison de leur préemption pour d'autres usages (réserves naturelles, expropriation...)</p>	<p>Investissements de capitaux</p> <p>Changement des conditions macro-économiques et commerciales au niveau national ou global conduisant à des évolutions de prix (crise financière globale ou élévation brutale des prix des ressources énergétiques)</p> <p>Nouvelles technologies pour intensifier l'usage des ressources</p>	<p>Changements politiques rapides (dévaluation...)</p> <p>Instabilité gouvernementale</p> <p>Guerre</p>	<p>Conflits internes</p> <p>Epidémies, maladies (HIV...)</p> <p>Risques associés aux risques naturels (menant par exemple à une pénurie agricole, une perte de ressources, une baisse de la capacité de production...)</p>	<p>Perte des droits d'accès aux ressources environnementales (expropriation pour la mise en culture de grandes portions de terres, grands barrages, projets d'exploitation forestière, de développement touristique, de protection de la faune sauvage), ce qui mène à une marginalisation écologique des plus pauvres</p>

Tableau 3 : Typologie des causes de changements d'utilisation des sols (Geist *et al.*, 2005)

Malgré les nombreuses études et tentatives de modélisation de ces facteurs, leur identification reste encore délicate, surtout dans le cas de facteurs indirects (Turner *et al.*, 2007). Les changements ne sont pas le résultat d'un facteur unique, mais la conjonction de facteurs multiples d'intensité variable, agissant en synergie et évoluant dans l'espace et le temps, et dont il convient de déterminer la part respective dans le changement observé.

1.2.3. Conséquences des changements d'occupation et d'utilisation des sols

L'occupation et l'utilisation des sols étant situées à l'intersection des sous systèmes anthropiques et environnementaux, les évolutions de la couverture des sols ont des répercussions plus ou moins directes sur l'environnement d'une part, et sur les activités humaines d'autre part. Les perturbations induites par les changements d'occupation et d'utilisation des sols et supportées par les écosystèmes ont un impact direct sur ces écosystèmes, et affectent par conséquent la capacité des systèmes biologiques à supporter les besoins humains (DeFries et Bounoua, 2004 ; Metzger *et al.*, 2006).

Les impacts des changements d'occupation et d'utilisation des sols peuvent être positifs ou négatifs (Chhabra *et al.*, 2005). Ainsi ils permettent d'augmenter la part de production primaire destinée à être consommée par les hommes, mais entraîne conjointement une baisse de la part disponible pour les autres fonctions écosystémiques (DeFries *et al.*, 2004). Parmi les impacts positifs des changements d'occupation et d'utilisation des sols, on peut évoquer l'augmentation de la production de nourriture et fibres, l'augmentation des richesses, la sécurité des moyens de subsistance, l'amélioration du confort et du bien-être humain. Le revers de la médaille se présente sous la forme d'effets secondaires tels que l'altération importante des cycles biogéochimiques (eau, nitrogène, carbone), des processus écosystémiques et des interactions terre-atmosphère, la perte de biodiversité, la dégradation de la qualité des sols, ou encore les modifications climatiques (Ojima *et al.*, 2005 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Rindfuss *et al.*, 2004) (tableau 4).

Service écosystémique	Rôle de l'utilisation des sols dans la fourniture du service écosystémique	Exemple de service altéré par les changements d'utilisation des sols
Biens fournis par les écosystèmes (nourriture, fibres, bois de chauffage)	Fournit une production primaire pour la consommation humaine	La conversion de terres en terres agricoles augmente la part des sols utilisés pour la consommation humaine.
Fourniture en eau fraîche	Régule l'écoulement des eaux de surface vers les cours d'eau	L'urbanisation augmente le risque d'inondations brutales en cas de tempête.
	Maintient la qualité de l'eau	Les excédents agricoles augmentent la charge de nutriments dans les cours d'eau.
Régulation climatique	Piège les gaz à effet de serre par l'intermédiaire des cycles biogéochimiques	La déforestation tropicale libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.
	Permet les échanges terre - atmosphère	La déforestation augmente l'albedo et refroidit la surface de la planète.
Régulation des maladies	Restreint l'habitat pour la transmission des maladies	La déforestation augmente le nombre de contacts entre primates et humains, et contribue à la dispersion de maladies d'origine animale.
Diversité biologique (ressources génétiques et biochimiques, bénéfices culturels)	Fournit un habitat pour les espèces végétales et animales	La déforestation augmente la fragmentation des habitats.
Fertilité des sols	Permet le réapprovisionnement des sols en nutriments	L'érosion intense des sols sous l'effet de la mise en culture réduit la fertilité des sols.

Tableau 4 : Exemples de services écosystémiques dégradés par les changements d'occupation et d'utilisation des sols (DeFries *et al.*, 2004).

Les changements d'occupation des sols ou l'intensification de l'utilisation des sols sont également susceptibles de déterminer la vulnérabilité des lieux et des hommes à certaines perturbations d'origine climatique, écologique ou socio-politique tels que les risques d'inondation (DeFries et Eshleman, 2004 ; Brath *et al.*, 2006 ; Luguang *et al.*, 2008) ou les glissements de terrain (Van Beek et Van Ascht, 2004). Ainsi l'artificialisation des littoraux par la construction contribue à augmenter les enjeux liés à la préservation du trait de côte (Meur-Ferec, 2006), et est susceptible d'aboutir à une vulnérabilité plus importante des sociétés et des espaces face à des catastrophes de type submersion marine, comme ce fut le cas lors de la tempête Xynthia (2010), ou plus récemment au Japon (2011).

1.3. Etude des changements d'occupation des sols : les sources de données employées

L'imagerie satellitaire et aérienne s'est progressivement imposée comme la source de données privilégiée pour l'extraction d'informations relatives à l'occupation des sols et à leur évolution temporelle (Käyhkö *et al.*, 2011 ; Lu *et al.*, 2003 ; Lunetta *et al.*, 2006). Depuis l'apparition des premières images satellitaires civiles dans les années 1970, l'offre s'est considérablement développée et a gagné en qualité notamment en termes de résolution spatiale³². En parallèle, les photographies aériennes sont aujourd'hui numérisées, géoréférencées et orthorectifiées, ce qui facilite leur insertion dans les SIG et l'acquisition d'informations géospatialisées (Thomson *et al.*, 2007). Pour l'extraction d'une information relative à l'occupation des sols à échelle globale ou régionale, le recours à des images

32. Des capteurs comme Quickbird, Ikonos, le futur satellite Pleiades, ont des résolutions métriques ou sub-métriques.

satellites qui fournissent des vues panoptiques s'impose. Les données privilégiées à ces échelles sont les images satellitaires de résolution grossière (images du capteur MODIS à 1 km de résolution) ou moyenne (images du capteur Landsat à 30 m de résolution). A l'échelle locale, la résolution doit être plus fine afin de permettre l'identification d'objets de dimension relativement petite (parcelles, bâtiments...). Si certains capteurs satellitaires (Ikonos, QuickBird, SPOT 5) fournissent des images dont la résolution est comparable à celle de la photographie aérienne, cette dernière reste très utilisée pour obtenir de l'information décrivant l'occupation des sols.

Les techniques d'extraction de l'information à partir de ces images s'appuient soit sur le traitement numérique soit sur la photo-interprétation. Le traitement numérique consiste à analyser les signaux spectraux captés par un capteur et à extraire par classification automatique ou semi-automatique une information relative à l'état de surface. La faible résolution des images satellitaires a pendant longtemps limité cette méthode à la production d'information à une échelle globale ou régionale. Mais le traitement numérique est de plus en plus employé pour des études locales grâce à l'essor des images THR et à la diffusion de nouvelles méthodes de traitement de ces images, comme par exemple la classification orientée-objet. Les coûts liés à l'acquisition et au traitement des images satellitaires restent importants³³, et leur exploitation requiert des compétences méthodologiques et techniques spécifiques. Mais ces inconvénients sont contrebalancés par de nombreux avantages tels que la rapidité des traitements (par comparaison avec la photo-interprétation), les possibilités de reproductibilité des méthodes (permettant des mises à jour régulières des bases de données), ou le caractère homogène de l'interprétation sur l'ensemble de l'image.

La photo-interprétation est l'interprétation visuelle d'une image satellitaire ou aérienne. Cette méthode est souvent privilégiée dans le cadre de diagnostics locaux, impliquant l'extraction d'informations fines sur des territoires peu étendus. Pour la production d'une information d'occupation des sols à grande échelle mais sur des territoires étendus, cette méthode a de nombreuses limites : délais de traitement, hétérogénéité de l'interprétation, capacité de mise à jour décennales (pour les sources aériennes), sources d'erreurs difficiles à estimer qui les rend peu opérationnelles dans un contexte de suivi (Le Berre *et al.*, 2005). Malgré ces limites, la photo-interprétation d'images satellitaires ou aériennes reste une technique couramment employée à l'échelle locale voire régionale (Thomson *et al.*, 2007 ; EAA, 2007).

33. A titre d'exemple le coût d'une scène SPOT en mode multispectral à 2,5 m de résolution s'élève, en 2011, à 8 700 €, prix auquel il faut ajouter 800 à 3 900 € pour une acquisition programmée. Pour une scène de taille équivalente (60kmx60km), le prix d'une image Ikonos à 1 mètre de résolution varie entre 3 600 € (image d'archive) et 8 300 € (image programmée). Le coût des logiciels d'analyse d'images, classiques ou orientés-objet (Envi, eCognition par exemple) est également élevé, et souvent inabordable pour des collectivités territoriales ou des associations aux moyens limités.

2. Les approches spatiales pour appréhender l'occupation des sols et ses changements

La thématique de l'occupation des sols et des changements d'occupation et d'utilisation des sols est un champ de recherche très actif comme en témoignent les programmes de recherche internationaux portant sur le sujet. Les travaux en la matière utilisent différentes résolutions d'images (Pauleit *et al.*, 2005 ; Muttitanon et Tripathi, 2005 ; Le Hégarat-Masclé *et al.*, 2005 ; Zhan *et al.*, 2002 ; Moeller *et al.*, 2004) ainsi que des échelles variées, de l'échelle globale prenant en compte l'ensemble de la planète (Bartholomé et Belward, 2005 ; Giri *et al.*, 2005 ; Loveland *et al.*, 2000 ; Arino *et al.*, 2007) à l'échelle locale qui concerne des territoires beaucoup plus petits (Käyhkö *et al.*, 2011 ; Thomson *et al.*, 2007 ; Crase et Hempel, 2005 ; Jain et Jain, 2006), en passant par une échelle régionale intermédiaire³⁴ (Bradley et Mustard, 2005 ; Boles *et al.*, 2004 ; Stehman *et al.*, 2003 ; Latifovic et Pouliot, 2005).

Nous dressons ici un inventaire non exhaustif de travaux portant sur l'identification des changements d'occupation des sols à différentes échelles : globale, nationale et locale (tableau 5). Les méthodes employées sont le traitement numérique ou la photo-interprétation. La résolution et la nature des images utilisées varient en fonction de l'échelle à laquelle les données sont collectées et de la finalité des études.

34. Girard et Girard (2004) distinguent cinq niveaux d'échelles : globale (1/1 000 000 ou inférieur), continentale (1/250 000 à 1/1 000 000), nationale (1/50 000 à 1/250 000), régionale (1/10 000 à 1/50 000), et enfin locale (inférieure à 1/10 000). Nous regrouperons les catégories continentale et nationale sous l'échelle régionale, et les catégories régionale et locale sous l'échelle locale.

Nom du programme	Global Land Cover 2000	GlobCover	Modis Land Cover	Corine Land Cover	NOAA C-CAP	IPLI	Etalement urbain - Bretagne	Atlas de l'évolution de l'occupation du sol sur le littoral breton entre 1977 et 2003
Couverture spatiale	Planète entière Données plus détaillées par continent	Planète entière	Planète entière	Europe (les 25 Etats membres + Afrique du Nord et quelques pays supplémentaires)	Etats-Unis (états côtiers)	Zone côtière de la France métropolitaine (environ 10 km à l'intérieur des terres)	Région Bretagne	Zone côtière de la région Bretagne (emprise spatiale de l'IPLI, environ 10 km à l'intérieur des terres)
Résolution	1 km	300 m	1 km / 28 km pour la planète entière	25 ha (taille de la plus petite unité cartographiée)	30 m	1 ha (taille de la plus petite unité cartographiée)	30 m	50 cm
Echelle de restitution	-	-	-	1 / 100 000	1 / 100 000	1/25 000	-	1/25 000
Couverture temporelle	2000	2005-2006	depuis 2001	depuis 1990	depuis 1992	1977 / 1982 (partiellement)	Deux dates : 1984 et 2005	Deux dates : 1977 et 2000
Mises à jour régulières prévues	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Problématique générale	Le but du programme était de produire une donnée relative à l'occupation des sols à une échelle mondiale utilisable à la fois par les scientifiques et les gestionnaires. La typologie de la base de données est orientée sur la description fine du couvert végétal.	Le but de ce programme est de compléter l'information relative à l'occupation des sols à l'échelle planétaire. L'apport majeur de GlobCover est sa résolution fine. La typologie de la base de données est orientée sur la description du couvert végétal (densité des couvertures végétales).	Ce programme produit une donnée relative à l'occupation des sols à partir d'images AVHRR en testant les potentialités du capteur MODIS. La typologie est orientée sur une description fine du couvert végétal.	CLC fournit une information spatialisée relative à l'occupation des sols homogène pour l'Europe, à destination des politiques environnementales européennes. La typologie est orientée sur l'occupation biophysique du sol, mais bénéficie d'un grand niveau de détail pour ce qui concerne les zones artificialisées.	Le programme fournit une information spatialisée sur l'occupation et l'utilisation des sols des Etats côtiers des Etats-Unis. L'information vise à apporter une aide aux gestionnaires de ces espaces et à fournir aux scientifiques des données pour la partie terrestre de la zone côtière.	L'IPLI avait pour objectif de fournir une information de référence sur l'ensemble du littoral français et de constituer un instrument d'aide à la décision. Les données produites concernent l'occupation et l'utilisation des sols du littoral, la vocation juridique des sols et la maîtrise foncière publique.	L'étude a pour but de fournir une information spatialisée sur l'évolution passée de la tâche urbaine et de l'occupation des sols sur l'ensemble du département de Finistère. La typologie décrit l'occupation des sols en quatre classes : surfaces artificialisées, surfaces cultivées, surfaces boisées et surfaces en eau.	La finalité de l'atlas est d'actualiser la base de données IPLI datant de 1977 pour la Bretagne grâce à l'orthophotographie littorale de 2000. Cet atlas a été constitué pour répondre à une demande des gestionnaires et décideurs. La démarche se voulait globale et homogène sur l'ensemble du territoire breton.
Données utilisées	Satellite SPOT 4 Capteur VEGETATION-1	Satellite ENVISAT Capteur MERIS	Satellite Terra Capteur MODIS	Capteur Landstat MSS Capteur SPOT XS	Capteurs Landstat MSS et TM Capteur SPOT Photographies aériennes	Photographies aériennes	Capteurs Landstat TM	Orthophotographie littorale
Type de traitement des données	Classification d'images satellitaires (les méthodes varient selon les régions du globe)	Classification d'images satellitaires Connaissance expert	Classification d'images satellitaires	Photo-interprétation d'images satellitaires	Classification d'images satellitaires Photo-interprétation de photographies aériennes	Photo-interprétation de photographies aériennes noir et blanc	Classification d'images satellitaires	Photo-interprétation d'une orthophotographie
Diffusion	Données en libre accès http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php	Données en libre accès sous d'enregistrement http://postel.mediassfrance.org/TELECHARGEMENT/produits-Biogeophysiques/	Données en libre accès https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool	Politique d'accessibilité aux données variable selon les pays. Pour la France, données en libre accès http://sd1878-2.sivt.org	Données en libre accès http://csc.noaa.gov/digitalcoast/data/ccaphighres/download.html	Données accessibles via WMS/WFS http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=39 Données visualisables sur le site de Géolittoral http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php	Cartographie et analyse disponibles sur le site de l'Adeupa http://www.adeupa-brest.fr/observation-fonciere.php	Données visualisables via le serveur Cartelie http://cartelie.application.equipement.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=OCSOL_BRE_2&service=CETE_NC

Tableau 5 : Synthèse de quelques programmes portant sur l'acquisition d'information sur l'occupation des sols et son évolution aux échelles globales, régionales et locales.

2.1. A l'échelle du globe

Avec le développement des recherches sur les liens existant entre les changements d'occupation et d'utilisation des sols et le changement global sont apparus de nouveaux besoins en termes de données d'occupation et d'utilisation des sols homogènes au niveau planétaire. Au début des années 2000, il a été mis en évidence que les bases de données existantes qui étaient produites, pour la majorité d'entre elles, à partir de données AVHRR (*Advanced Very-High Resolution Radiometer*) étaient inadaptées et surtout trop anciennes pour être pertinentes (Loveland *et al.*, 2000 ; Friedl *et al.*, 2002). Les potentialités offertes par le nombre croissant de satellites d'observation de la terre ont par la suite permis la multiplication des bases de données adaptées au suivi des changements d'occupation des sols à l'échelle globale. Nous examinons ici trois de ces bases de données.

2.1.1. Global Land Cover 2000

Global Land Cover 2000³⁵ (GLC 2000) est une base de données relative à l'occupation des sols produite à l'échelle mondiale. Fruit de la collaboration d'une trentaine d'organismes de recherche pilotés par le *Joint Research Center* (JRC) de la Commission Européenne, elle fournit la donnée de référence pour les travaux du *Millenium Ecosystem Assessment* (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). GLC 2000 contient deux niveaux d'information : un niveau détaillé correspondant à chaque continent et un niveau plus agrégé pour une couverture globale (Bartholomé et Belward, 2005).

Les données de GLC 2000 ont été produites à partir d'images SPOT 4 à un kilomètre de résolution spatiale, acquises par son capteur VEGETATION. L'originalité de la méthode employée pour la production des informations réside dans sa démarche « bottom-up ». La planète a été divisée en 19 régions qui ont été traitées par des équipes et des experts locaux qui ont choisi leurs méthodes de classification en fonction des particularités locales. Le système de classification standardisé *Land Cover Classification System* (LCCS) développé par la FAO³⁶ et l'UNEP³⁷ (Di Gregorio et Jansen, 1998) a été adopté afin de regrouper et d'harmoniser les données produites pour chaque région à l'échelle du globe (Bartholomé et Belward, 2005). La typologie employée pour l'occupation des sols est une description en 22 classes du couvert végétal. Elle propose également des équivalences avec le système de classification de l'*International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) (Loveland *et al.*, 2000) à des fins de compatibilités avec d'autres données (tableau 6).

35. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/global-land-cover-2000>

36. Food and Agriculture Organization

37. United Nations Environment Programme

	Typologie GLC 2000	Correspondance IGBP
1	Couverture arborée de feuillus à feuilles persistantes	Forêt de feuillus à feuilles persistantes, savanes arborées et savanes (Forêt : couverture arborée > 65 %, taille > 2m)
2	Couverture arborée fermée de feuillus à feuilles caduques	Forêt de feuillus à feuilles caduques
3	Couverture arborée ouverte de feuillus à feuilles caduques	Savanes arborées et savanes
4	Couverture arborée d'épineux à feuilles persistantes	Forêt d'épineux à feuilles persistantes
5	Couverture arborée d'épineux à feuilles caduques	Forêt d'épineux à feuilles caduques
6	Couverture arborée de feuillus et épineux	Forêt mixte
7	Couverture arborée régulièrement inondée (eau douce et eau saumâtre)	Feuillus à feuilles persistantes
8	Couverture arborée régulièrement inondée (eau salée)	Feuillus à feuilles persistantes
9	Mosaïque de couverture arborée et d'autres types de végétation naturelle	Brousse
10	Couverture arborée brûlée	-
11	Couverture arbustive à feuilles persistantes, ouverte ou fermée	Brousse ouverte ou fermée
12	Couverture arbustive à feuilles caduques, ouverte ou fermée	Savanes
13	Couverture herbacée, ouverte ou fermée	Prairies
14	Couverture herbacée clairsemée ou couverture arbustive clairsemée	-
15	Couverture arbustive ou couverture herbacée régulièrement inondée	Zones toujours humides
16	Zones cultivées	Terres agricoles
17	Mosaïque de zones cultivées, de couverture arborée et d'autres types de végétation naturelle	Mosaïque de terres agricoles et autres types de végétation
18	Mosaïque de zones cultivées et de couverture arborée ou herbacée	-
19	Sols nus	Sols nus ou peu végétalisés
20	Plans d'eau	Eau
21	Neige et glace	Neige et glace
22	Surfaces artificialisées et zone associées	Zones urbaines et artificialisées

Tableau 6 : Typologies de Global Land Cover 2000 (d'après Bartholomé et Belward, 2005).

2.1.2. Globcover

Globcover³⁸ est un programme piloté par l'Agence Spatiale Européenne, dont l'objectif est de produire une carte globale de l'occupation des sols en 2005-2006. Il s'inscrit dans la continuité du programme Global Land Cover 2000 (Arino *et al.*, 2007).

Les données sont produites à partir du capteur MERIS à 300 m de résolution spatiale, embarqué à bord du satellite ENVISAT. La méthode de traitement des données est fondée sur deux étapes : la production de mosaïques d'images et leur classification conduisant à la production d'une carte d'occupation des sols à 300 m de résolution dont la nomenclature est compatible avec le LCCS de la FAO et de l'UNEP (tableau 7). La résolution des données de base et le caractère reproductible de la méthode employée constituent un progrès significatif pour l'étude des changements d'occupation des sols (Arino *et al.*, 2007).

38. <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJETS/Pre-operationnels-GMES/GLOBCOVER>.

Typologie GlobCover	
1	Zones cultivées non irriguées
2	Zones inondées ou zones irriguées
3	Mosaïque de zones cultivées (50 à 70 %) et de végétation diverse (prairie / brousse / forêt) (20 à 50 %)
4	Mosaïque de végétation diverse (prairie / brousse / forêt) (50 à 70 %) et de zones cultivées (20 à 50 %)
5	Forêt de feuillus à feuilles persistantes et / ou semi-persistantes (> 5 m), ouverte ou fermée (> 15 %)
6	Forêt (> 5 m) fermée (> 40 %) de feuillus à feuilles caduques
7	Forêt ou région boisée (> 5 m) ouverte (15 à 40 %) de feuillus à feuilles caduques
8	Forêt (> 5 m) fermée (> 40 %) d'épineux à feuilles persistantes
9	Forêt (> 5 m) fermée (> 40 %) d'épineux à feuilles caduques
10	Forêt (> 5 m) ouverte (15 à 40 %) d'épineux à feuilles caduques ou persistantes
11	Forêt mixte ouverte ou fermée (> 15 %) de feuillus et d'épineux
12	Mosaïque de forêt ou brousse (50 à 70 %) et de prairie (20 à 50 %)
13	Mosaïque de prairie (50 à 70 %) et de forêt ou brousse (20 à 50 %)
14	Brousse (< 5 m) ouverte ou fermée (> 15 %)
15	Prairie ouverte ou fermée (> 15 %)
16	Végétation clairsemée (< 15 %)
17	Forêt fermée (> 40 %) de feuillus régulièrement inondée par de l'eau douce
18	Forêt fermée (> 40 %) de feuillus à feuilles persistantes et / ou semi-persistantes régulièrement inondée par de l'eau salée
19	Prairie, brousse, région boisée, ouverte ou fermée (> 15 %) régulièrement inondée ou aux sols imbibés d'eau douce, saumâtre ou salée
20	Zones artificialisées et surfaces associées (zones urbaines > 50 %)
21	Sols nus
22	Plans d'eau
23	Neige et glace éternelles
-	Absence de données

Tableau 7 :Typologie de Globcover (d'après A(Arino O. *et al.*, 2008)rino *et al.*, 2008).

2.1.3. MODIS Land Cover

La base de données d'occupation des sols de MODIS³⁹ (figure 13) est produite par l'Université de Boston.

39. <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/landcover.htm>.

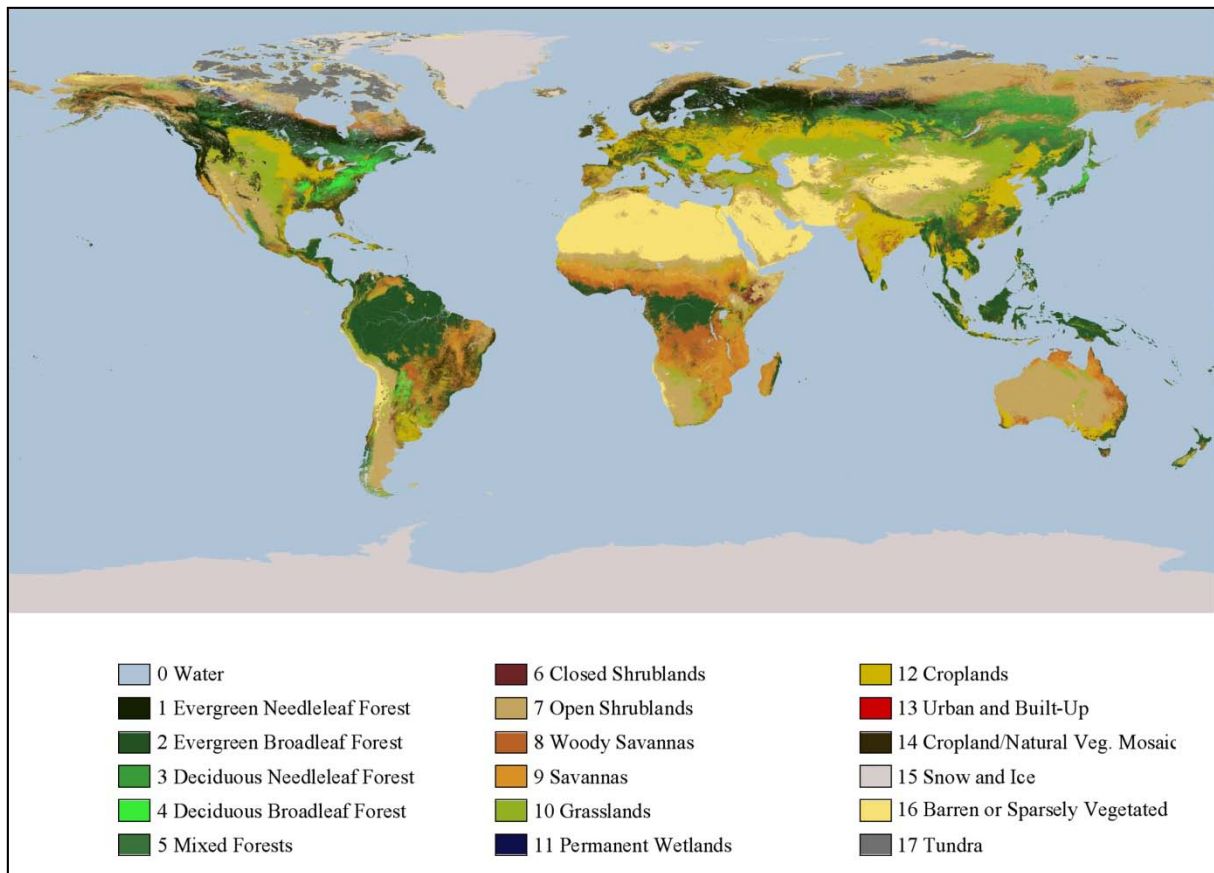


Figure 13 : Carte d'occupation des sols MODIS Land Cover.

Les données de base ont été obtenues à partir d'images à un kilomètre de résolution spatiale, acquises par le capteur MODIS du satellite Terra. Ces images ont été traitées par classification supervisée associée à un arbre de décision ; le système de classification retenu étant celui de l'International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), qui permet de décrire l'occupation des sols en 16 classes (Friedl *et al.*, 2002) selon une nomenclature orientée sur une description détaillée de la végétation (tableau 8).

Deux bases de données ont été produites à partir du traitement de ces images : l'une décrit l'occupation des sols à l'échelle globale (à 1 km et à 28 km de résolution), l'autre concerne les dynamiques de l'occupation des sols intervenues en une année.

Typologie MODIS Land Cover - IGBP	
1	Forêts d'épineux à feuilles persistantes
2	Forêts de feuillus à feuilles persistantes
3	Forêts d'épineux à feuilles caduques
4	Forêts de feuillus à feuilles caduques
5	Forêts mixtes
6	Brousses fermées
7	Brousses ouvertes
8	Savanes arborées
9	Savanes
10	Prairies
11	Zones humides permanentes
12	Terres cultivées
13	Zones urbanisées et artificialisées
14	Mosaïque de terres cultivées et de végétation naturelle
15	Neige et glace
16	Sols nus
17	Plans d'eau

Tableau 8 : Typologie de MODIS Land Cover (d'après Friedl *et al.*, 2002).

2.2. En Europe : CORINE Land Cover

La base de données CORINE Land Cover (CLC) est produite dans le cadre du programme européen de Coordination de l'Information sur l'Environnement CORINE, initiative impulsée par la Commission Européenne au milieu des années 1980. Projet expérimental, il avait pour objectif de « collecter, coordonner et mettre en cohérence de l'information sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles de la Communauté Européenne » (JO L.176 du 6/07/1985⁴⁰).

CLC est un inventaire de l'occupation et de l'utilisation des terres couvrant 38 états européens et les bandes côtières du Maroc et de la Tunisie (figure 14). La continuité du programme et la diffusion des données sont assurés par l'AEE⁴¹.

40. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CELEX:31985D0338:FR:HTML>.

41. Les données Corine Land Cover sont téléchargeables pour les années 1990 et 2000 pour l'ensemble des pays concernés sur le site web de l'*European Environment Agency* (<http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download> et <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/default.asp?refid=911B582A-806E-4758-892E-9AB9AFB47B84>).



Figure 14 : Couverture spatiale des données CORINE Land Cover (<http://etc-lusi.eionet.europa.eu/CLC2000>).

La méthode de production des données CLC est basée sur la photo-interprétation de tirages photographiques de compositions colorées « en fausses couleurs » d'images satellitaires (Landsat et SPOT). Les données sont produites par interprétation manuelle, dans un environnement logiciel de type SIG, de ces images associées à des données exogènes (photographies aériennes, cartes topographiques, thématiques...). La typologie retenue a été orientée sur l'occupation biophysique des sols plutôt que sur son utilisation, privilégiant la nature des objets (forêts, cultures, surfaces en eau...) plutôt que leur fonction socio-économique (agriculture...). Cette typologie est souvent employée pour la description de l'occupation des sols à une échelle régionale (Neumann *et al.*, 2007 ; Martin de Santa Ollala Mañas *et al.*, 2003 ; Girard *et al.*, 1997).

Trois jeux de données ont été produits en 1990, 2000 et 2006. Les données sont disponibles à trois niveaux de précision (tableau 9 et figure 15) :

- un niveau 1 agrégé en cinq classes principales, destiné à fournir une vision globale des grands types d'occupation des sols,
- un niveau 2 intermédiaire en 15 classes utilisables pour les échelles de 1/500 000 et 1/ 1 000 000,
- et un niveau 3 en 44 classes utilisable au 1/100 000 qui est le niveau de production de la donnée. L'échelle de ce niveau 3 a été jugée bien adaptée aux critères nationaux et européens de suivi et de gestion de l'environnement et d'aménagement de l'espace. La taille de la plus petite unité cartographiée est de 25 hectares.

La qualité thématique globale des données CORINE Land Cover est estimée à 87 % \pm 0,8 % de précision globale (EAA, 2007).

Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3	
1	Territoires artificialisés	1.1	Zones urbanisées	111	Tissu urbain continu
				112	Tissu urbain discontinu
		1.2	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	121	Zones industrielles et commerciales
				122	Réseau routier et ferroviaire et espaces associés
				123	Zones portuaires
				124	Aéroports
		1.3	Mines, décharges et chantiers	131	Extraction de matériaux
				132	Décharges
		1.4	Espaces verts artificialisés non	133	Chantiers
				141	Espaces verts urbains
2	Territoires agricoles	2.1	Terres arables	142	Equipements sportifs et de loisirs
				211	Terres arables hors périmètre d'irrigation
				212	Périmètres irrigués en permanence
				213	Rizières
		2.2	Cultures permanentes	221	Vignobles
				222	Vergers et petits fruits
				223	Oliveraies
		2.3	Prairies	231	Prairies
				241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes
		2.4	Zones agricoles hétérogènes	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
				243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
				244	Territoires agro-forestiers
				311	Forêts de feuillus
		3	Forêts et milieux semi-naturels	3.1	Forêts
313	Forêts mélangées				
321	Pelouses et pâturages naturels				
322	Landes et broussailles				
3.2	Milieux à végétation arbustive et / ou herbacée			323	Végétation sclérophylle
				324	Forêt et végétation arbustive en mutation
				331	Plages, dunes et sable
				332	Roches nues
3.3	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation			333	Végétation clairsemée
				334	Zones incendiées
		335	Glaciers et neiges éternelles		
		411	Marais intérieurs		
4	Zones humides	4.1	Zones humides intérieures	412	Tourbières
				421	Marais maritimes
		4.2	Zones humides maritimes	422	Marais salants
				423	Zones intertidales
5	Surfaces en eau	5.1	Eaux continentales	511	Cours et voies d'eau
				512	Plans d'eau
		5.2	Eaux maritimes	521	Lagunes littorales
				522	Estuaires
				523	Mers et océans
				524	Marais littoraux

Tableau 9 : Typologie de CORINE Land Cover (<http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/nomenclature/nomenclature-corine-land-cover-europe.html>).

CORINE Land Cover permet de procéder à l'identification des changements d'occupation et d'utilisation des sols survenus en Europe entre deux dates, en comparant les différents jeux de données. Les données relatives aux changements sont disponibles pour la période 1990-2000 (pour les pays disposant de données pour l'année 1990) et 2000-2006. Dans le détail, les modes de production de chaque jeu de données (1990, 2000, 2006, 1990-2000 et 2000-2006) ont évolué en fonction de l'avancée des réflexions méthodologiques, même si la photo-interprétation d'images satellitaires reste privilégiée. Ainsi CLC 2000 a été produite par mise à jour de CLC 1990, puis les changements 1990-2000 ont été déduits de ces deux jeux de données. Pour produire CLC 2006, les changements 2000-2006 ont d'abord été identifiés, puis CLC 2006 a été produite par addition des changements à CLC 2000.

Applicable du nord au sud de l'Europe et de l'Atlantique à l'Oural, CLC constitue une véritable référence pour de nombreux pays. Elle a fait l'objet de développements locaux pour définir un quatrième niveau en vue de produire une carte à 1/25 000 (Girard *et al.*, 1997).

Ces conditions de développement déterminent également les limites propres de cette typologie et de la cartographie qui en est dérivée (Martin de Santa Ollala Mañas *et al.*, 2003) :

- conçue au niveau européen, son échelle la plus grande d'application (1/100 000) ne correspond pas aux échelles de gestion des territoires, notamment pour les collectivités locales et départementales (si ce n'est régionale) ;
- la production de CLC repose sur de l'interprétation d'images, c'est-à-dire une méthode difficilement reproductible, dans laquelle les risques d'erreurs sont importants en fonction de la compétence des photo-interprètes et de la nature des régions traitées. A la demande des utilisateurs, la base de données est prévue pour être régulièrement actualisée (EAA, 2007). Dans ce contexte une évolution méthodologique serait à envisager.

2.3. En France

2.3.1. L'utilisation de CORINE Land Cover

En France, c'est le SOeS, dépendant du Commissariat Général au développement durable, qui est chargé de la production, de la maintenance et de la diffusion de CORINE Land Cover⁴² (figure 15).

42. Des informations relatives à Corine Land Cover et les données pour la France sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/liste/1825.html>.

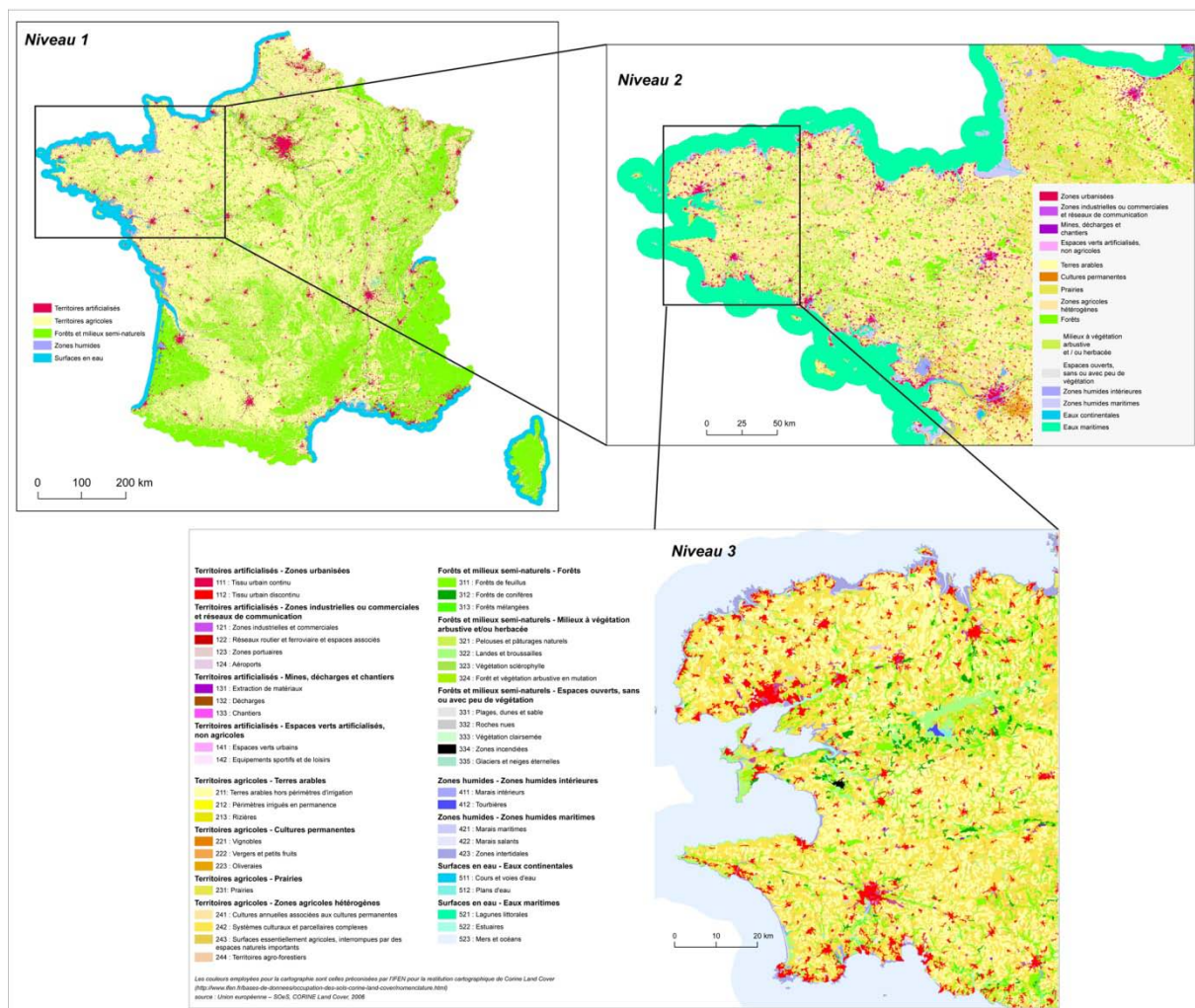


Figure 15 : CORINE Land Cover 2006 pour la France aux trois niveaux de précision.

Les méthodes de production de CLC pour la France aux trois dates ont légèrement évolué entre 1990 et 2006, nécessitant des ajustements techniques pour permettre la comparaison des différentes dates (EAA, 2007). La photo-interprétation manuelle demeure toutefois la règle de base de la production des données (tableau 10).

	Corine Land Cover 1990	Corine Land Cover 2000	Corine Land Cover 2006
Superficie	550 000 km ² + espaces marins et limitrophes	550 000 km ² + espaces marins et limitrophes	550 000 km ² + espaces marins et limitrophes
Système de projection	Lambert conforme, zone II étendu	Lambert conforme, zone II étendu	Lambert conforme, zone II étendu
Méthode de production	Méthode de photo-interprétation visuelle d'images satellitaires assistée de données d'appui telles que photographies aériennes, cartes topographiques ou thématiques diverses	Méthode de photo-interprétation visuelle d'images satellitaires assistée de données d'appui telles que photographies aériennes, cartes topographiques ou thématiques diverses	Méthode de photo-interprétation visuelle d'images satellitaires assistée de données d'appui telles que photographies aériennes, cartes topographiques ou thématiques diverses
Unités de production	293 coupures régulières IGN 1 :100 000	293 coupures régulières IGN 1 :100 000, réparties en 4 zones de production	293 coupures régulières IGN 1 :100 000
Satellites et capteurs multi-spectraux utilisés	Landsat MSS et SPOT XS • 15 Landsat MSS et 40 Spot XS pour les 5 régions du Sud (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse), acquises sur les années 1987 et 1988, sur les mois de juin à septembre • 240 Spot pour les 17 régions restantes, acquises sur les années 1989 à 1994, durant les mois de juin à septembre • 45 scènes Landsat 5 TM pour la validation de la base en préalable à la production de CLC 2000	Landsat ETM + • 45 scènes acquises sur 2000 +/- 1 an, sur les mois de juin à septembre	SPOT 4 + IRS P6 sur 2006 +/- 1 an, sur les mois de juin à septembre
Principales données exogènes utilisées	• Cartes topographiques IGN au 1/25 000e, 1/50 000e et 1/100 000e • Cartes de végétation CNRS au 1/200 000e • Cartes des types de peuplement forestier IFN au 1/200 000e • Base de données cartographiques IGN, couches occupation des sols et réseaux • Photographies aériennes panchromatiques IGN au 1/30 000e et 1/60 000e • Photographies aériennes IFN au 1/17 000e et 1/30 000e	• Prise de vues aériennes départementales de l'IGN de 1997 à 2002, en panchromatique, couleur et proche infra-rouge • Cartes topographiques IGN au 1/25 000e • Base de données carto IGN • Base de données cartographiques de l'IFN • Diverses images, bases de données, orthophotographies propriétés des prestataires en charge d'une partie de la production	• BD ORTHO® IGN • Base de données carto IGN • Diverses images, bases de données
Production de la base de données	En deux étapes distinctes : • La première étape a concerné les 5 régions du sud de la France (Aquitaine, Corse, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées et Provence-Alpes-Côte d'Azur). Elles ont été interprétées à partir d'images satellitaires Landsat MSS de 1987 et 1988 avec un seuil de 5 ha hectares pour les unités cartographiées • La deuxième étape a été conduite par l'Ifen, à sa création en 1992, sur les 17 régions restantes en utilisant des images satellitaires Spot. L'Ifen a notamment entrepris la mise aux normes européennes de la base sud, produite durant la première étape	Trois phases de production, conduites successivement : • Validation – correction de CLC 1990 pour produire une version améliorée de cette base de données • Création de CLC 2000 par mise à jour de CLC 1990 en utilisant les images datées de 2000 • Ces deux tâches ayant été produites sur 4 zones de production, la dernière étape consiste à assembler ces résultats pour fournir deux bases sur l'ensemble du territoire national. Il en est déduit la base des changements	Trois étapes de production, conduites successivement : • Correction de CLC 2000 • Production de la base des changements 2000-2006 • Calcul de CLC 2006 par addition

Tableau 10 : Critères de production de la couverture française de CORINE Land Cover aux trois dates.

Les données CLC sont utilisées par de nombreux organismes publics ou privés travaillant dans les domaines de l'environnement ou de l'aménagement du territoire, éventuellement en complément d'autres données géographiques ou statistiques (Observatoire du Littoral, BRGM, Conseils Généraux, DREAL, parcs nationaux⁴³...). Elles alimentent par exemple :

43. <http://atlas.parcsnationaux.org/cevennes/page.asp?page=30>.

- des connaissances de l'occupation des sols d'un territoire et de sa dynamique d'évolution,
- des inventaires de la richesse écologique d'un territoire, évaluation des écosystèmes,
- des études d'impact en cas de nouveaux aménagements ou dans la prise en compte de risques naturels,
- des analyses paysagères,
- des suivis d'espaces protégés.

2.3.2. L'IPLI

2.3.2.1. L'IPLI 1977

L'IPLI⁴⁴ a été initié en 1977 par la DATAR dans le cadre d'un Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire. La mise en œuvre de ce projet résultait d'une prise de conscience de l'importance de la protection du littoral. La mission qui fut alors confiée à l'IPLI était de constituer et de gérer une banque de données graphiques et statistiques nationale, actualisable tous les cinq ans. Elle devait contenir des données relatives à l'état et à l'évolution du littoral, à sa vocation juridique et à la maîtrise foncière publique. L'espace concerné est une bande d'environ cinq kilomètres en mer et dix kilomètres à l'intérieur des terres. La vocation de l'IPLI était de fournir une information de référence sur l'ensemble du littoral français pouvant aider à la prise de décision (Gesta, 1987).

La donnée relative à l'occupation des sols de l'IPLI-77 a été produite à partir de la photo-interprétation de clichés aériens, acquis au cours d'une mission spécifique, datant de 1977 au 1/25 000, reportée ensuite sur des fonds de carte IGN au 1/25 000 à l'aide de calques. La surface minimale retenue est théoriquement de un hectare. La nomenclature de l'IPLI-77 est subdivisée en huit rubriques (tableau 11).

44. http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=13.

	Rubriques	Sous-rubriques	Conservé lors de la numérisation
1	Espaces urbanisés	Ensemble habitat collectif	Oui
		Ensemble habitat individuel groupé	Oui
		Habitat individuel diffus	Oui
		Tissu mixte	Oui
		Zone industrielle et commerciale	Oui
		Emprise des grands équipements	Oui
		Habitat touristique spécifique	Oui
		Espaces verts	Oui
		Camping et stationnement de caravanes	Oui
		Espace en mutation	Oui (fusion avec les espaces en mutation des autres rubriques)
2	Espaces naturels	Lande, maquis, garrigue	Oui
		Bois	Oui
		Dunes	Oui
		Bois incendié	Non
		Habitat dispersé récent	Oui (fusion avec l'habitat dispersé récent des autres rubriques)
3	Espaces agricoles	Espace en mutation	Oui
		Labour	Oui (renommé terres cultivées)
		Cultures légumière ou florale	Oui
		Prairie	Oui
		Vignoble	Oui
		Arboriculture	Oui
		Friche	Oui
		Habitat dispersé récent	Oui (fusion avec l'habitat dispersé récent des autres rubriques)
		Espace en mutation	Oui (fusion avec les espaces en mutation des autres rubriques)
4	Roche, linéaire côtier	Rochers	Oui
		Falaise	Oui
		Plage	Oui
		Artificiel, endigage	Non
		Dépôt, érosion	Non
5	Espaces aquatiques	Mer (profondeur inférieure à 20 m), plans d'eau, estran et platiers	Oui
		Zones humides et plans d'eau associés	Oui
6	Cultures marines	Pisciculture	Non
		Conchyliculture (huîtres, moules, autres coquillages)	Oui
		Algues	Non
		Divers	Non
7	Richesses naturelles exploitées	Faune	Non
		Flore	Non
		Minéral	Non
		Salines et marais salants	Oui
8	Richesses naturelles à protéger	Faune	Non
		Flore	Non
		Minéral	Non
		Rejets en mer	Non

Tableau 11 : Typologie de l'IPLI-77.

Une première série de données a été produite en 1977 pour l'ensemble du littoral métropolitain, et une actualisation partielle a été effectuée en 1982 après modification de la nomenclature.

Le projet a par la suite été abandonné en raison des coûts et des délais de production jugés trop importants. Néanmoins, à la demande de l'ex Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU), le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipe Normandie-Centre (CETE Normandie-Centre) a procédé à la numérisation des données relatives à l'usage des sols de l'IPLI 77 et à la constitution d'une couche d'information géographique pilotée par un SIG. Lors de cette phase de numérisation, des regroupements de postes de la nomenclature ont été effectués dès lors que l'information n'était pas jugée essentielle. Les informations relatives à la partie marine et aux données juridiques ont ainsi été écartées (figure 16).

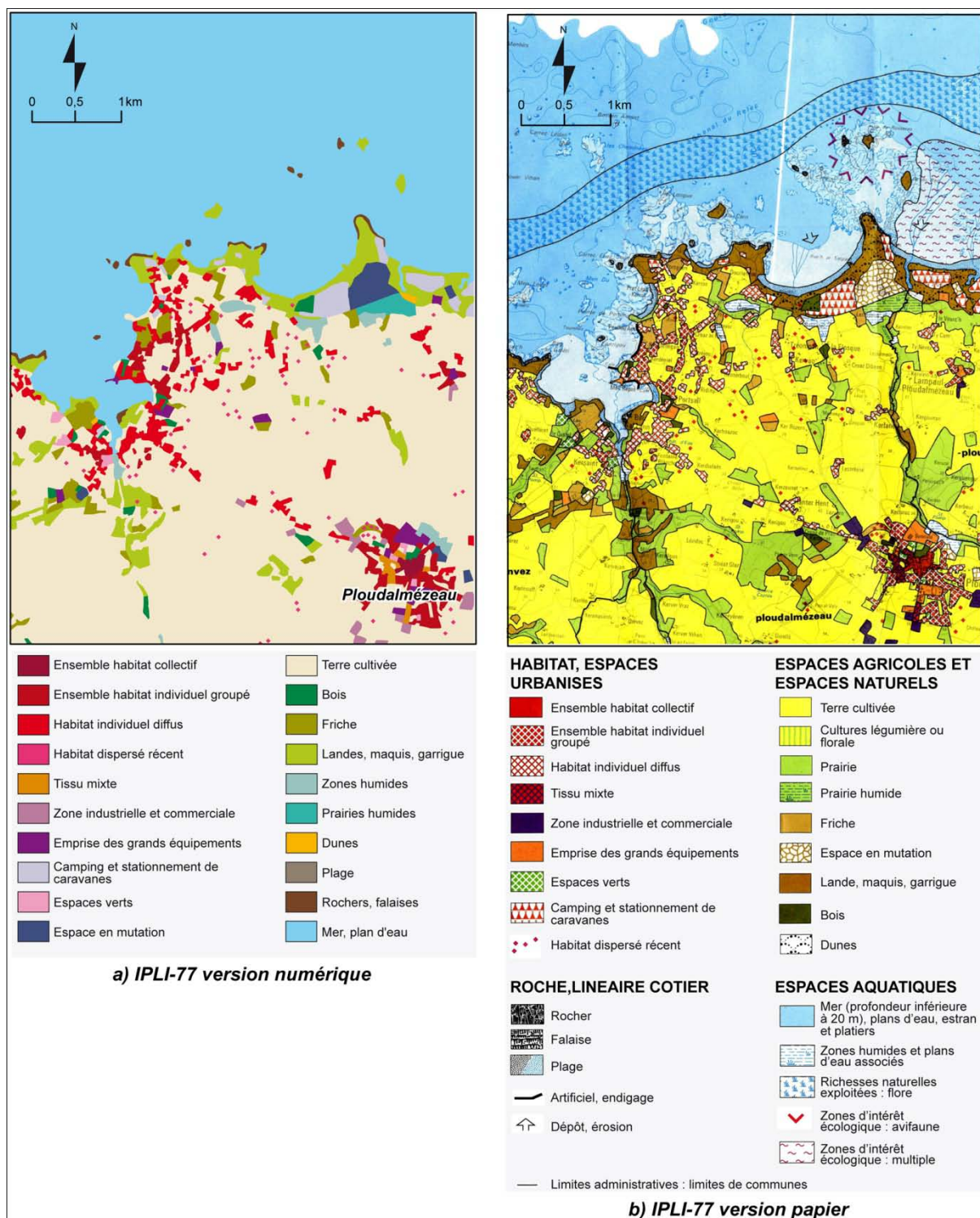


Figure 16 : Extrait de la version papier et de la version numérisée de l'IPLI-77.

Certaines entités de l'IPLI version papier ont également été recodées lors de la numérisation quand jugées non pertinentes (sur la figure 16, on remarque par exemple que de nombreux objets classés en « prairies » dans la version papier de l'IPLI sont classés en « terres cultivées » dans la version numérisée).

2.3.2.2. Litto-MOS, une reconstitution de l'IPLI

Suite à la publication de la Directive européenne Inspire (2007), le CETE Normandie-Centre s'est vu confier par l'Etat la mission de reconstituer un IPLI à l'échelle nationale, en s'appuyant au maximum sur les données d'occupation des sols existant localement⁴⁵. Ce « nouvel IPLI » baptisé Litto-MOS est une base de données d'occupation des sols 2000-2006 mise en ligne sur le site Géolittoral en janvier 2011⁴⁶. L'information disponible se présente sous la forme d'une carte à 1/25 000 couvrant l'ensemble du littoral français métropolitain à l'exception des départements de la Somme et de la Charente-Maritime (figure 17). Les données sont également téléchargeables au format .tab (logiciel Mapinfo) via le serveur Cartelie⁴⁷. Pour constituer cette base de données, le CETE Normandie-Centre a procédé à la collecte des données produites localement et régionalement, relatives à l'occupation des sols du littoral, à une échelle plus grande ou égale au 1/25 000ème. Un travail d'harmonisation des nomenclatures en utilisant comme référence la nomenclature CORINE Land Cover (Vigné *et al.*, 2008) et des unités minimales de collecte a été réalisé.



Figure 17 : Emprise spatiale de la couverture Litto-MOS (http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=litto_MOS&service=CETE_NC).

45. http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=65.

46. http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=19.

47. http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=litto_MOS&service=CETE_NC.

Toutefois il semblerait qu'aucune réflexion n'ait porté sur l'homogénéité du mode de production des données ainsi collectées. Il n'existe à notre connaissance aucun document décrivant les données sources, leur mode de production, l'organisme producteur ou le contexte de la production. Dans ces conditions, on peut s'interroger sur la qualité globale de Litto-MOS, mise librement à disposition des utilisateurs.

2.4. En Bretagne et dans le Finistère

2.4.1. L'Atlas de l'évolution de l'occupation des sols sur le littoral breton entre 1977 et 2003⁴⁸

A la demande des directions départementales de l'Équipement des quatre départements bretons, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Bretagne a fait réaliser des atlas décrivant l'occupation et l'utilisation des sols sur 289 communes littorales au 1/25 000ème (DRE Bretagne, 2008). L'objectif de cette démarche était de mettre à jour la base de données IPLI datant de 1977. Des initiatives locales de ce type existaient déjà, d'où l'idée d'une démarche globale et homogène sur l'ensemble du littoral breton. Le manque de fiabilité géométrique de l'IPLI a fait évoluer le projet vers la production de données nouvelles relatives à l'occupation et l'utilisation des sols dans les communes littorales bretonnes en 2000 constituant un nouvel état de référence ayant vocation à servir de socle pour les mises à jour à venir (DRE Bretagne, 2008).

Les données ont été produites par photo-interprétation assistée par ordinateur sur la base de l'orthophotographie littorale acquise en 2000⁴⁹. La nomenclature utilisée est celle de l'IPLI. Une comparaison entre les données de 1977 et 2000 a été réalisée grâce aux potentialités des SIG pour mettre en évidence les principaux changements d'occupation des sols survenus entre ces deux dates, à savoir la progression des espaces artificialisés, la production des espaces naturels et la progression des espaces agricoles. Des données statistiques sont associées aux résultats cartographiques. Les producteurs des données insistent sur le fait que les changements d'occupation des sols identifiés ne peuvent toutefois être considérés comme des données scientifiques du fait des incompatibilités géométriques entre les deux bases de données comparées.

48. <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/atlas-de-l-evolution-de-l-a738.html>.

49. Les dalles ayant servi à la production des données sont disponibles à l'adresse suivante : http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=67.



51. http://cartelie.application.equipement.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=EVOLOCSOL&service=CETE_NC.

2.4.2. Evolution de la tâche urbaine dans le Finistère entre 1984 et 2005

Dans le cadre de ses études sur le suivi des évolutions urbaines, l'Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Brest (Adeupa) a fait réaliser en 2009 une étude portant sur l'évolution de la tâche urbaine et de l'occupation des sols dans le département du Finistère (Dusseux *et al.*, 2009). Cette étude a été confiée à l'UMR LETG dont un des laboratoires avait réalisé le même type d'étude pour les départements de l'Ile-et-Vilaine et du Morbihan (Aguejda *et al.*, 2009 ; Vannier *et al.*, 2008). Les objectifs de l'étude ont été de déterminer l'évolution de l'emprise de la tâche urbaine dans le Finistère depuis une vingtaine d'années d'une part, et de connaître l'évolution des modes d'usage des sols vis-à-vis de l'extension de l'emprise urbaine sur l'ensemble du département avec le même pas de temps et sur la même période d'autre part. Les deux dates retenues sont 1984 et 2005 et la typologie décrit l'occupation des sols en quatre classes (tableau 12).

1	Surfaces en eau
2	Surfaces boisées (Landes et Friches incluses)
3	Surfaces agricoles (Cultures et Prairies)
4	Surfaces artificialisées

Tableau 12 : Typologie de l'étude de la tâche urbaine (d'après Dusseux *et al.*, 2009).

Les données ont été produites par classification orientée-objet d'images satellitaires de quatre scènes Landsat TM à 30 m de résolution (deux par année). Pour 2005, les zones artificialisées sont décrites à deux niveaux de précision : un niveau 1 (le moins détaillé) qui permet d'effectuer la comparaison des couches de 1984 et 2005 et un niveau 2 (le plus détaillé) qui permet de mettre en évidence le mitage perceptible à partir des images Landsat 2005 (Dusseux *et al.*, 2009).

Le résultat est une base de données spatialisée des principaux types d'occupation et d'utilisation des sols dans le Finistère à deux dates : 1984 et 2005. Elle a été exploitée pour produire plusieurs cartes des surfaces urbanisées en 2005 permettant d'évaluer l'importance du mitage, de l'évolution de la tâche urbaine entre 1984 et 2005 (figure 19), et de l'occupation des sols en 1984 et en 2005 (Dusseux *et al.*, 2009).

Evolution des surfaces artificialisées dans le Finistère entre 1984 et 2005

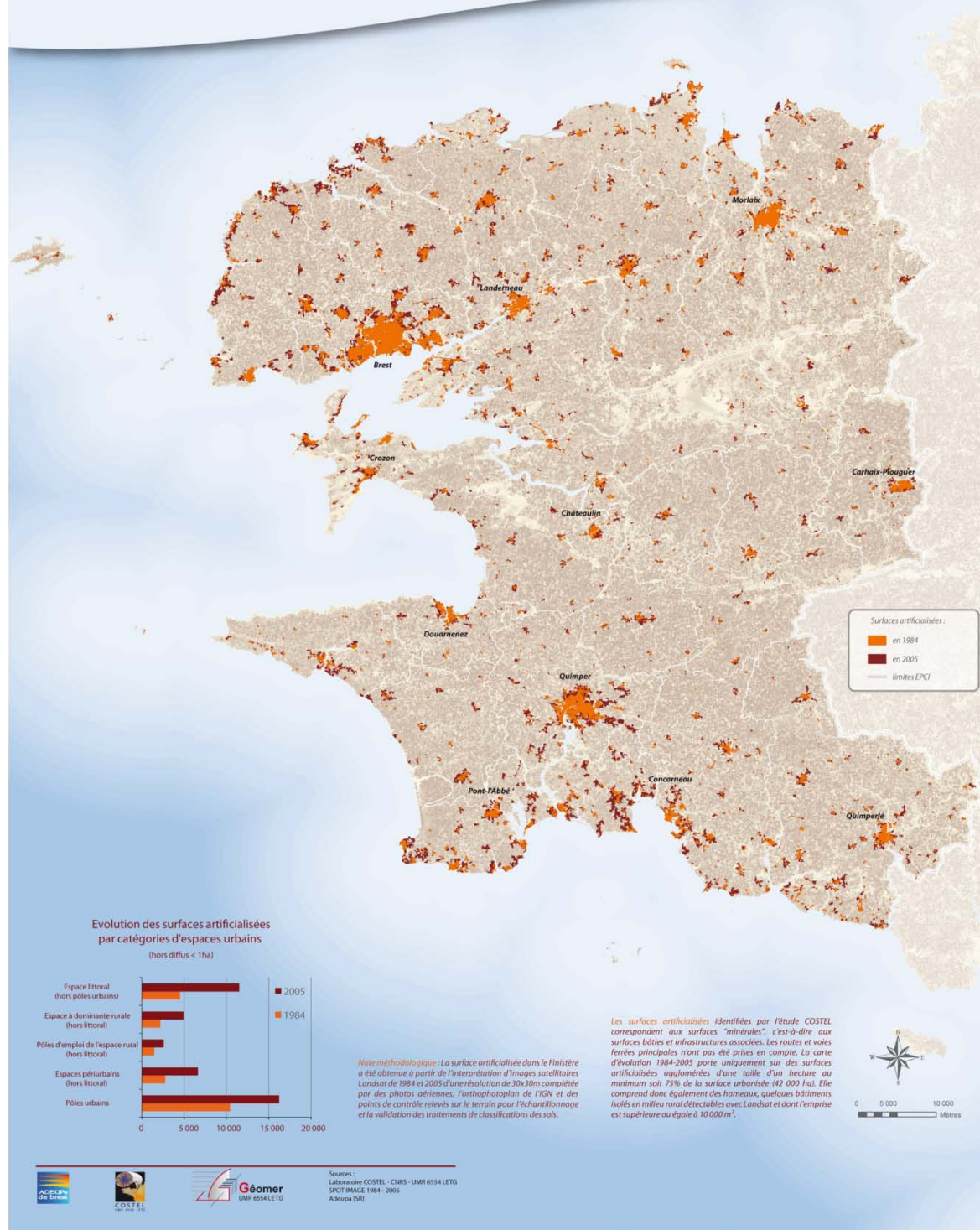


Figure 19 : Evolution de la tâche urbaine dans le Finistère entre 1984 et 2005 (valorisation de Dusseux *et al.*, 2009).

3. Les enjeux de recherche concernant les changements d'occupation et d'utilisation des sols dans la zone côtière à l'échelle locale

Les enjeux de recherche autour de la problématique des changements d'occupation et d'utilisation des sols sont devenus suffisamment importants pour qu'émerge durant ces dernières années une « science des changements des sols » (land change / land system science) à part entière (Turner *et al.*, 2007 ; Gutman *et al.*, 2004 ; Rindfuss *et al.*, 2004). En effet l'étude des changements d'occupation et d'utilisation des sols participe à une meilleure compréhension du Système Terre dans son ensemble, et du changement global en particulier. Les changements d'occupation des sols sont un marqueur de la façon dont les sociétés humaines interagissent avec leur territoire, dans le cadre d'un couple homme / environnement, et ces dynamiques sociales et environnementales opèrent à de multiples échelles (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 2007).

3.1. La question des échelles dans la problématique des changements d'occupation des sols

Les travaux relatifs aux changements d'occupation des sols distinguent classiquement trois échelles spatiales : l'échelle globale, l'échelle régionale et l'échelle locale (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 1995). Les limites exactes de ces échelles ne sont pas définies, mais on peut toutefois assimiler chaque échelle à un niveau géographique. L'échelle globale correspond aux phénomènes et processus se situant au niveau de la planète toute entière (changement climatique global, dynamiques commerciales globales). A l'autre extrémité, l'échelle locale concerne des espaces de tailles variables, qui en fonction des problématiques peuvent être quelques parcelles de terres, un village, une entité administrative de type communale, voire une ville et ses alentours. Les dimensions spatiales d'une entité locale sont donc variables (Lecerf, 2008). L'échelle régionale est en position intermédiaire.

Les changements d'occupation des sols se produisent très majoritairement à une échelle locale, le plus souvent à l'échelle de la parcelle, même si ces changements peuvent concerner de vastes superficies. Ils sont susceptibles d'avoir un impact non seulement au niveau local, mais également aux niveaux régional et global (Lambin et Geist, 2006). Ainsi les changements d'occupation et d'utilisation des sols sont considérés comme faisant partie des éléments explicatifs déterminants du changement global, avec des impacts majeurs sur les écosystèmes, les changements climatiques ou encore la vulnérabilité anthropique (Lambin et Geist, 2006 ; Foley *et al.*, 2005). En retour, le changement global produit des évolutions climatiques et une adaptation de la réponse anthropique, et a donc un impact sur l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols. En outre les changements d'occupation des sols s'expliquent par des processus s'exprimant tant à l'échelle locale que régionale et globale (Ojima *et al.*, 2005) (figure 20).

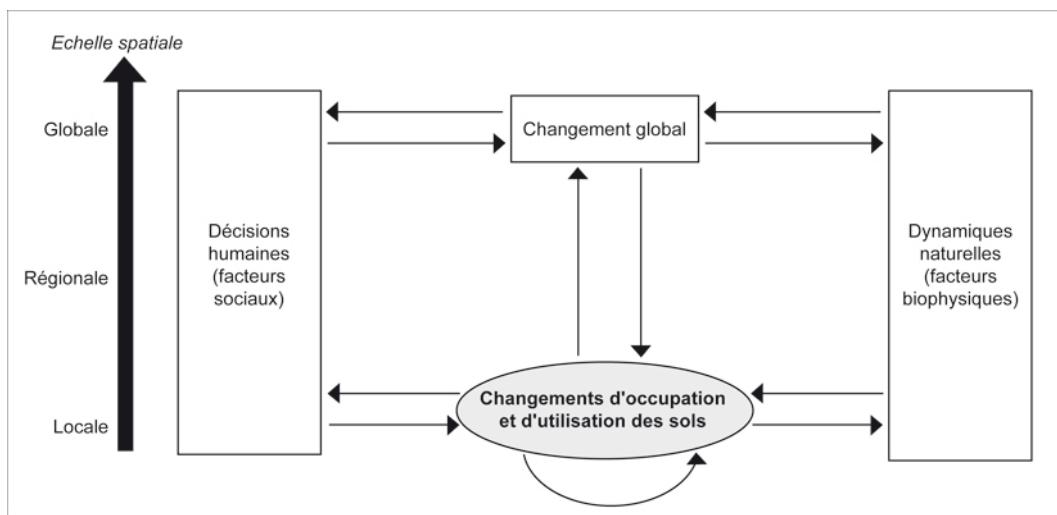


Figure 20 : Impacts des changements d'occupation et d'utilisation des sols de l'échelle locale à l'échelle globale.

L'étude des changements d'occupation et d'utilisation des sols en lien avec les écosystèmes et leurs impacts sur le changement global et le développement durable est aujourd'hui un défi de recherche majeur pour les sciences humaines et environnementales (Ojima *et al.*, 2005 ; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Turner *et al.*, 2007). Au même titre, l'étude des changements d'occupation des sols et des processus en œuvre aux échelles locales et régionales sont primordiales. La multiplication des études relatives aux changements d'occupation des sols à des échelles locales permet de constituer une base de connaissances sur les processus et les facteurs de changements, et ainsi de dresser une vue d'ensemble des principales dynamiques mondiales (Ojima *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 1995 ; Lambin *et al.*, 1999).

3.2. Enjeux de recherche à l'échelle locale

A l'échelle globale, les principaux changements d'occupation des sols (déforestation, désertification, urbanisation massive) sont relativement bien identifiés, et leurs mécanismes de mieux en mieux connus (Lambin et Geist, 2006 ; Lepers *et al.*, 2005 ; Lambin *et al.*, 2001 ; Lambin *et al.*, 2003). Si les études relatives aux changements d'occupation des sols aux échelles régionales et locales ont tendance à se multiplier, les changements d'occupation des sols de faible amplitude et diffus du point de vue spatio-temporel restent en revanche encore assez mal connus (Hubert-Moy *et al.*, 2006). Or le suivi des changements d'occupation des sols à l'échelle locale représente un enjeu important pour la gestion durable des territoires et de leurs ressources à moyen et long terme. La production d'informations relatives aux changements d'occupation et d'utilisation des sols est susceptible de répondre à une demande de la part des gestionnaires et élus locaux, et a souvent pour but d'éclairer une problématique spécifique au territoire concerné et d'apporter des éléments de réponses aux questions associées. Comprendre les dynamiques et mécanismes de changements d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle locale permet donc de répondre à un certain nombre de problématiques environnementales propres à un territoire donné. C'est en effet aux échelles locales et régionales que les évolutions des problèmes environnementaux sont les plus nettement perçues par la société (Houet, 2006).

3.3. Enjeux du suivi des changements d'occupation des sols pour la zone côtière

Il existe assez peu d'études concernant les changements d'occupation et d'utilisation des sols dans des espaces situés à l'interface de différents milieux tels que les zones côtières. Les facteurs de changements y sont a priori plus difficiles à identifier et à modéliser. Dans la littérature consacrée aux changements globaux, la question des évolutions susceptibles d'impacter la zone côtière est le plus souvent abordée sous l'angle de l'impact supposé de l'élévation du niveau de la mer. Mais l'étude des changements d'occupation des sols observés sur la zone côtière et leurs impacts locaux est plus rare. Or la zone côtière est un espace convoité, densément peuplé et exploité par les sociétés humaines, et donc soumise à d'importantes pressions anthropiques. Le phénomène le plus couramment étudié dans le cadre des changements d'occupation des sols en zone côtière est l'urbanisation du littoral (Voiron-Canicio, 2007) et de ses conséquences spécifiques sur l'environnement côtier : imperméabilisation des sols et impact du ruissellement sur le cycle de l'eau, rejets d'eaux usées, dégradation de la qualité des eaux côtières et des écosystèmes côtiers (Kleppel *et al.*, 2006 ; Lee *et al.*, 2006 ; Ucuncuoglu *et al.*, 2006 ; Doney, 2010).

Pourtant le suivi de l'occupation et de l'utilisation des sols en tant qu'indicateur des variations de cette pression humaine d'une part, et en tant qu'indicateur de l'état général du territoire étudié d'autre part, présente de multiples intérêts. A une échelle locale ce suivi peut permettre de disposer d'informations pertinentes pour établir un diagnostic territorial fiable, en cohérence avec les outils de gestion intégrée du littoral (les dispositifs de GIZC impliquent de disposer d'informations spatialisées et d'outils de planification spatiale). Les données et les analyses concernant le suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols de la zone côtière correspondent de fait à un véritable besoin des gestionnaires et acteurs de ces espaces. Le suivi des changements d'occupation des sols en zone côtière permet également d'apporter de nouveaux éléments relatifs au fonctionnement des littoraux, et de mieux cerner les interactions et rétroactions des activités humaines sur cet environnement fragile.

Conclusion de la première partie

La zone côtière est un espace de projets et de gestion dont les limites sont variables. A défaut de partager une définition unique, les zones côtières du globe présentent des caractéristiques propres à leur nature d'interface entre terre et mer. Leurs écosystèmes diversifiés et très productifs fournissent à leurs usagers de nombreux services, contribuant à leur sensibilité et à leur fragilité. En effet les activités qui s'y déroulent peuvent perturber les équilibres en place, entraîner des conflits d'usages et une vulnérabilité aux aléas de toute nature. Devant la prise de conscience internationale de cette fragilité, il est apparu nécessaire de mettre en place des solutions efficaces pour gérer durablement cet espace sensible et spécifique, et protéger ses ressources et ses richesses. Néanmoins la complexité de la zone côtière, aux enjeux et interactions nombreux et interconnectés, rend sa gestion difficile. C'est le relatif manque d'efficacité des politiques sectorielles qui a fait émerger la GIZC depuis les années 1970, en parallèle à l'apparition d'une conception systémique et holistique de cet espace spécifique.

Dans cette perspective, les indicateurs environnementaux permettent la synthèse, le partage, la mutualisation et la diffusion des informations relatives aux zones côtières, comme le montrent les initiatives européennes (programme Deduce) ou nationales (Observatoire du Littoral). A ce titre, le suivi et l'analyse des changements d'occupation des sols intervenant en zone côtière sont particulièrement intéressants, car ils traduisent les interactions entre l'homme et son environnement. La réalisation d'inventaires réguliers et homogènes des changements d'occupation des sols dans la zone côtière répond en outre à un besoin des acteurs en termes de connaissance, de gestion et d'aide à la décision. De fait, les inventaires de l'occupation des sols dans les zones côtières se sont multipliés ces dernières années à l'échelle européenne, nationale et régionale.

Il est indiscutable que la problématique des changements d'occupation des sols représente actuellement un enjeu majeur pour contribuer à la connaissance des changements globaux. C'est dans ce contexte que les travaux relatifs aux dynamiques mondiales de l'occupation des sols se sont développés, aidés par le développement de l'offre en imagerie satellitaire et les évolutions technologiques relatives à l'extraction d'information à partir de ces images. Si les principaux types de changements d'occupation des sols qui affectent la planète sur de vastes superficies sont relativement bien connus, les changements d'occupation des sols de faible amplitude spatiale et temporelle sont encore mal maîtrisés, en particulier dans des zones d'interface.

On dispose à l'échelle globale de supports (images) et de méthodes éprouvées pour produire une donnée homogène et exploitable, décrivant des changements affectant de vastes superficies. En revanche, à l'échelle locale la production de données homogènes et actualisées est plus complexe. Or il s'agit en France de l'échelle de gestion des territoires, notamment par les collectivités territoriales qui ont pris en charge une grande partie des compétences dans le domaine de l'aménagement depuis années 1980 (lois sur la décentralisation⁵²) et de manière encore plus évidente depuis le début des années 2000 (lois

52. La loi dite « Defferre » du 2 mars 1982 est considérée comme la première étape de la décentralisation administrative en France.

Voynet, Chevènement et SRU⁵³). L'offre en données géospatiales s'est étoffée depuis la fin des années 1990 avec la fourniture d'images aux résolutions de plus en plus fines, a priori adaptées à l'extraction d'une information pertinente à l'échelle locale. Les méthodes et les outils destinés à l'exploitation de ces images se sont développés et diffusés en parallèle. On constate cependant que les coûts liés à l'acquisition et au traitement des images notamment satellitaires restent prohibitifs et qu'à l'échelle locale les méthodes « traditionnelles », reposant sur la photo-interprétation de clichés aériens sont les plus utilisées. Leur caractère chronophage et le fait qu'elles soient sources d'erreurs difficiles à estimer rendent très laborieuse la production d'une donnée homogène et exhaustive sur l'occupation des sols à une échelle et avec une fréquence temporelle pertinentes pour répondre aux besoins des gestionnaires. Les méthodes employées pour mettre en évidence des changements d'occupation des sols sont en outre très souvent élaborées au cas par cas en fonction des besoins. Le programme Litto-Mos constitue une réelle avancée en ce qui concerne la production d'une donnée de haute résolution commune et homogène sur la zone côtière française. Il répond en grande partie au besoin identifié par Bersani *et al.* (2006) de mise à disposition de référentiels typologiques (et terminologiques) nécessaires à l'élaboration de comparaisons multisources. Toutefois l'indisponibilité de données relatives au mode de production et à la qualité limite leur statut d'informations de référence et leur utilisation potentielle. C'est bien l'absence de « référentiel » commun (typologies, méthodologies, algorithmes de traitements) qui pose problème.

Concernant la zone côtière, la mise en œuvre de méthodes adaptées aux données disponibles pour l'acquisition d'informations relatives à l'occupation des sols et à son évolution représente un enjeu majeur pour améliorer la connaissance du système côtier et fournir des indicateurs utiles à la GIZC ; la perspective étant d'améliorer l'identification et la hiérarchisation des facteurs de changements en vue d'élaborer des modèles prédictifs ou prospectifs susceptibles de constituer une aide à la décision et à la gestion du système côtier.

53. La loi d'orientation pour l'aménagement durable du territoire (LOADT) promulguée le 25 juin 1999 (dite loi Voynet) crée deux nouvelles entités territoriales : le pays et l'agglomération. La loi relative à la simplification et au renforcement de la coopération intercommunale (dite [loi Chevènement](#)) du 12 juillet 1999 donne les moyens aux communes de se regrouper en [communauté de communes, en communauté d'agglomération ou en communauté urbaine](#). Enfin la loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbains du 13 décembre 2000 dite loi SRU instaure de nouveaux documents de planification urbaine (SCOT - schéma de cohérence territoriale et PLU - plan local d'urbanisme) fondés sur la notion de projet territorial.

DEUXIEME PARTIE – DONNEES ET METHODES

CHAPITRE 1 – LA ZONE COTIERE FRANÇAISE : UN ESPACE ATTRACTIF EN MUTATION

En France métropolitaine, dans la période récente – pour laquelle des données de recensement sont disponibles – la population des communes littorales est passée de 4,8 millions en 1968 à 6,1 millions en 2006, soit une augmentation de 25 % en presque 40 ans (Béoutis *et al.*, 2009). Sur la partie terrestre de la zone côtière, l'augmentation des surfaces artificialisées à proximité du trait de côte est une des conséquences la plus visible de la croissance de la pression anthropique.

1. La croissance de l'artificialisation sur les littoraux français.

Les 883 communes littorales de France métropolitaine accueillent aujourd'hui 10 % de la population métropolitaine sur seulement 4 % du territoire (Béoutis *et al.*, 2009). La pression anthropique majeure exercée sur la zone côtière française fait émerger nombre de questions relatives à la progression de l'urbanisation. Se posent également la question du maintien d'activités autres que résidentielles (maintien d'une agriculture littorale et cohabitation des usages résidentiels et agricoles), mais également la question de la protection des espaces naturels sensibles. Des outils de gestion ont été mis en place en France depuis les années 1970 pour tenter de concilier ces usages variés et limiter la consommation anarchique des ressources. Certains de ces outils sont spécifiques à un territoire ou à une problématique, tandis que d'autres ont vocation à intégrer les différents aspects de la protection du littoral.

Sauf mention contraire, les statistiques présentées dans cette partie sont extraites du rapport relatif à la démographie et à l'économie du littoral français produit par l'Observatoire du Littoral et l'INSEE (Béoutis *et al.*, 2009).

1.1. La forte croissance démographique de la zone côtière métropolitaine

1.1.1. 10% de la population sur 4% du territoire national

Avec 7 millions de résidents permanents dans les cantons littoraux, les rivages français sont densément peuplés et attractifs, puisque ces mêmes cantons littoraux ont gagné 1 million d'habitants entre 1975 et 2006. En 2006, les départements littoraux métropolitains présentent une densité moyenne de population de 133 habitants par km², contre 111 pour la moyenne française (DIACT, 2007). Cette densité de population passe à 315 habitants par km² pour les communes littorales métropolitaines. Cette tendance à la concentration de la population se poursuit car, entre 1986 et 2006, les départements littoraux ont accueilli 2,3 millions d'habitants supplémentaires, ce qui représente une croissance de 12 %. Ils absorbent à eux seuls 42 % de la croissance de la population française métropolitaine. 22 millions de français y résident de façon permanente, soit 36 % de la population

métropolitaine. Les communes littorales ont, quant à elles, accueilli 530 000 habitants supplémentaires depuis 1986, soit une croissance de 8,8 %. Elles comptaient en 2006 plus de 6 millions de résidents permanents (DIACT, 2007) (tableau 13).

La population littorale métropolitaine en 2006

	Densité de population (habitants/km ²)	Nombre d'habitants	Part de la population française métropolitaine	Croissance de la population depuis 1986	
				En valeur absolue	En valeur relative
France métropolitaine	111	63 000 000	-	-	-
Départements littoraux	133	22 000 000	35%	2 300 000	12%
Communes littorales	315	6 000 000	9,50%	530 000	6,60%

Tableau 13 : Population des espaces littoraux de France métropolitaine en 2006 (source : INSEE).

La population du littoral français est plus urbaine que le reste de la population française. En 1999, 76 % des habitants des communes littorales vivent dans une unité urbaine, contre 61 % pour l'ensemble de la France. Cette population est globalement plus âgée et vieillit plus rapidement que le reste de la population métropolitaine. Le phénomène est renforcé par une sous-représentation de la catégorie des moins de 20 ans. Les actifs qui s'installent sur le littoral sont plutôt des artisans, commerçants, petits chefs d'entreprise attirés par le potentiel économique, touristique et résidentiel alors que les retraités sont plutôt d'anciens cadres ; l'augmentation des prix du foncier expliquant principalement cette stratification sociale (DIACT, 2007).

1.1.2. Une situation démographique variable selon les façades maritimes

Rapportée à l'ensemble du linéaire côtier métropolitain, la densité de population sur le littoral français est forte, mais elle masque des contrastes et des inégalités importants (figure 21). De fait la densité de population peut atteindre jusqu'à 2 500 habitants par km² dans les Alpes-Maritimes, ou encore 800 habitants par km² dans les Pyrénées-Atlantiques ou dans le Nord, alors qu'*a contrario* les communes littorales de Corse, des Landes, de Gironde n'ont qu'une densité moyenne de 60 habitants par km², inférieure à la densité moyenne de population en France métropolitaine. L'évolution de la population de ces façades littorales n'est pas uniforme ; des différences d'attractivité existent entre les régions (figures 21 et 22).

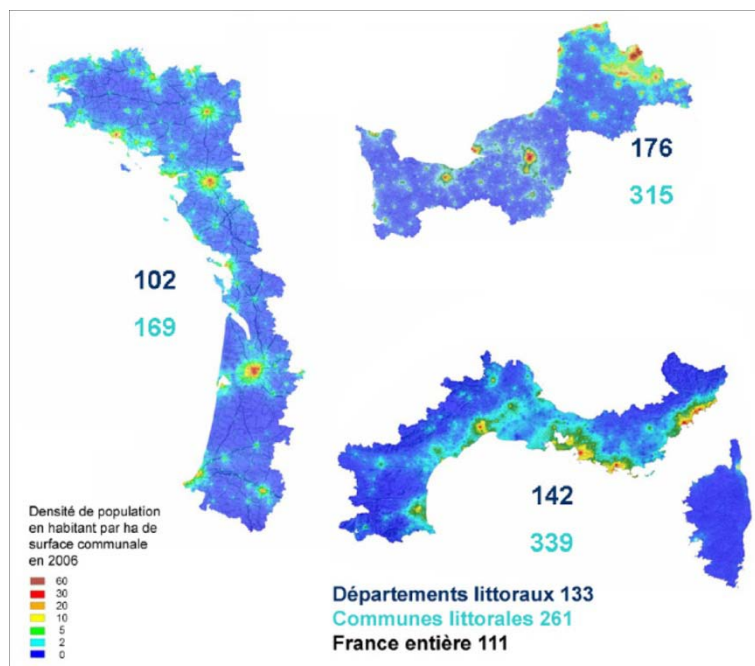


Figure 21 : Densité de peuplement en habitants par hectare de surface communale dans les départements littoraux français en 2006 (DIACT, 2007).

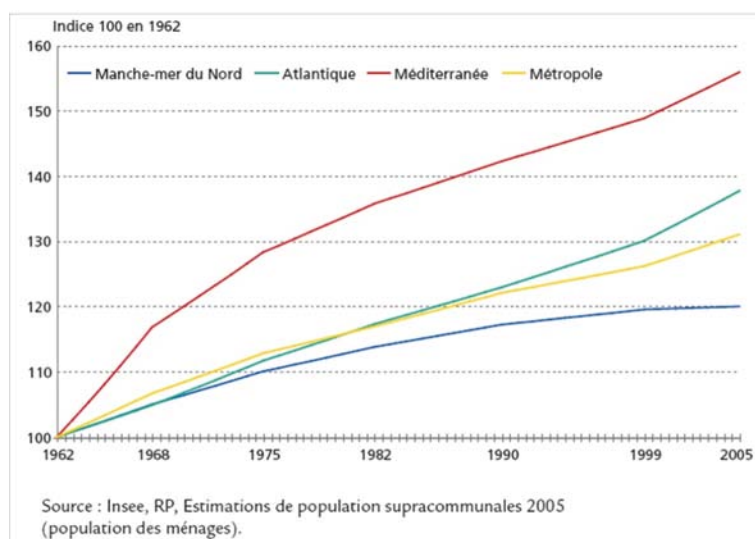


Figure 22 : Evolution de la population des cantons littoraux par façade maritime entre 1962 et 2005 (Béoutis et al., 2009).

A l'exception du littoral de la Manche et de la Mer du Nord, les façades littorales métropolitaines sont attractives. Les nouveaux arrivants contribuent à la forte croissance de population dans les communes littorales⁵⁴, entraînant progressivement un effet de saturation de ce territoire restreint.

54. Les migrations sont responsables de 64 % de l'accroissement de la population des communes littorales (DATAR, 2004).

1.1.3. Saturation des littoraux et étalement vers l'arrière-pays

Depuis une trentaine d'années est apparue une forme de saturation des fronts littoraux, avec pour corollaire un étalement progressif de la population au bénéfice des communes rétro-littorales. Elles connaissent depuis 1975 un essor démographique et le rythme de croissance annuel de leur population dépasse aujourd'hui celui des communes littorales (figure 23). Ce mouvement de « repli » vers les communes de l'arrière-pays est particulièrement marqué sur le littoral méditerranéen. Il reflète en partie le niveau de saturation urbaine de la zone littorale et la pression foncière démesurée qui s'exerce le long du front de mer, avec pour corollaire une flambée des prix de l'immobilier. A cela vient s'ajouter une dynamique périurbaine importante sur le littoral, et un changement d'échelle récent dans l'étalement urbain, dans le sens où les communes concernées sont de plus en plus éloignées du pôle urbain central, qui est lui-même souvent une commune littorale (DIACT, 2007).

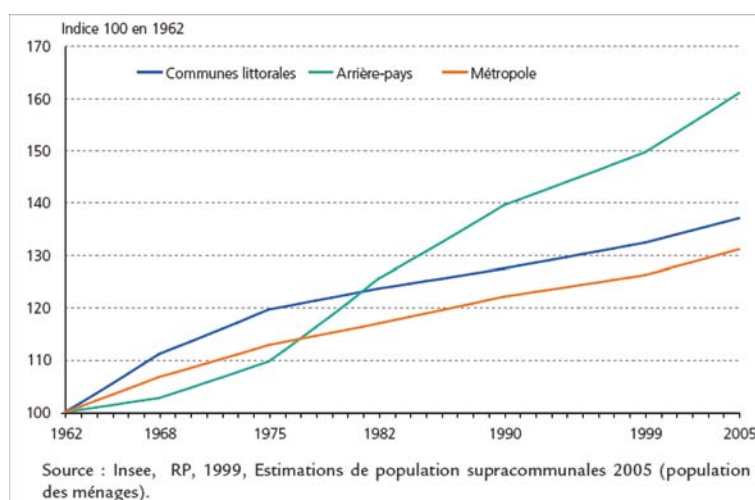


Figure 23 : Evolution de la population comparée des communes littorales, des communes de l'arrière-pays et de la France métropolitaine entre 1962 et 2005 (Béoutis *et al.*, 2009).

1.1.4. Facteurs d'attraction des littoraux français

De manière générale, le littoral fait l'objet d'un « investissement affectif et symbolique » (DATAR, 2004) et attire les résidents permanents pour le cadre de vie agréable qu'il offre même si l'importance de cette dimension varie en fonction des littoraux. Le sondage CSA-MEDD réalisé en juin 2006 à l'occasion des vingt ans de la loi Littoral révèle ainsi que 94% des Français estiment qu'il est important que cette loi existe, et seulement 70 % que « le littoral est bien préservé », confirmant l'importance que la population française accorde au littoral et à sa protection⁵⁵. Cet « investissement » se traduit par une attractivité croissante (figure 24).

55. Les résultats du sondage et son interprétation sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.ecologie.gouv.fr/Les-Francais-et-la-loi-littoral.html>

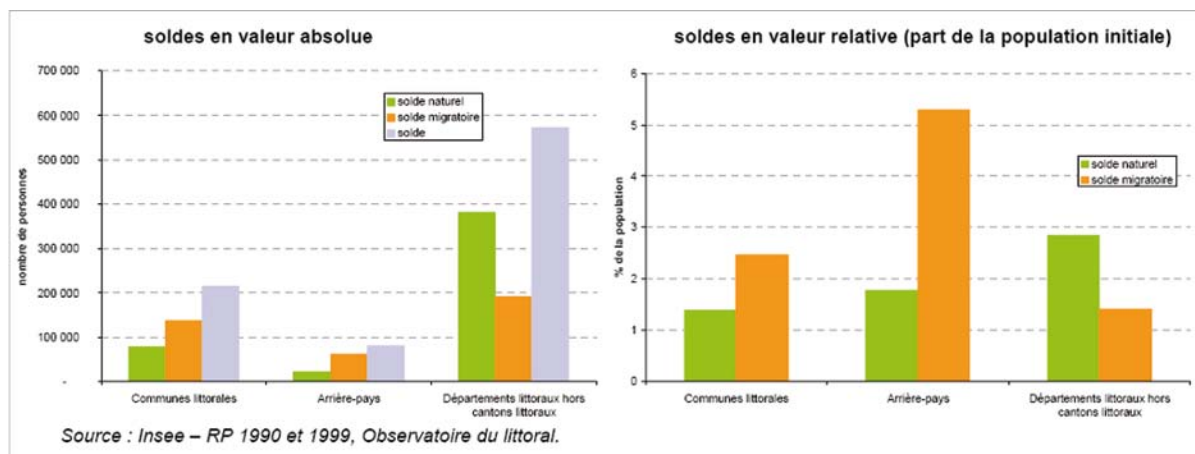


Figure 24 : Soldes naturels et migratoires sur le littoral entre 1990 et 1999 (Béoutis *et al.*, 2009).

Si les départements littoraux sont des lieux de villégiature pour personnes âgées, ils sont aussi des espaces de développement à part entière qui attirent les actifs en quête d'emploi. Malgré un taux de chômage supérieur à la moyenne métropolitaine – 17,6 % contre 12,8 % en 1999 – le nombre des emplois, de l'ordre de 8 millions en 2006 dans les départements littoraux, a progressé de 1,3 millions sur les vingt dernières années. Toutes les façades littorales ne présentent cependant pas le même dynamisme : la façade atlantique capte 44 % de cette progression, la Méditerranée 35 % et la Manche-Mer du Nord 25 % (DIACT, 2007). Le dynamisme économique du littoral n'est pas lié aux activités maritimes (pêche, aquaculture, ports...) qui sont en perte de vitesse, mais à l'émergence d'une économie de services et d'une économie résidentielle⁵⁶ fortement créatrices d'emplois, ainsi que par le développement de l'activité touristique (DIACT, 2007 ; Béoutis *et al.*, 2009).

1.2. L'artificialisation de la zone côtière : le littoral victime de son succès

La zone côtière métropolitaine est un espace plus artificialisé que la moyenne des territoires français. Selon le dernier inventaire CORINE Land Cover⁵⁷ pour la France, 13,8 % de la surface des communes littorales métropolitaines étaient artificialisée en 2006, contre 5,1 % de l'ensemble de la métropole. De plus la pression de la construction de logements (nombre de mètres carrés Shon⁵⁸ construits annuellement par unité de surface de territoire) dans les communes littorales est 2,5 fois supérieure à la moyenne métropolitaine.

56. « La sphère de l'économie résidentielle regroupe les services aux particuliers, la construction, la santé, l'action sociale, le commerce de détail, les activités financières et le transport de voyageurs. Ces activités s'adressent à un marché local, alimenté par les besoins de la population résidente ou de passage (touristes, déplacements professionnels journaliers) » (Observatoire du Littoral - INSEE – SOeS, 2009).

57. La base de données géographiques CORINE Land Cover, dite CLC, est produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement CORINE. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres fournit une information géographique de référence pour 38 états européens. Il existe pour la France métropolitaine trois jeux de données à trois dates différentes : 1990, 2000 et 2006. Les données françaises sont librement disponibles pour consultation et téléchargement (<http://sd1878-2.siviv.org/>). Concernant ces données, cf. p.54.

58. Le sigle shon désigne la Surface Hors Œuvre Nette. C'est une notion issue du droit de l'urbanisme. La SHON d'une maison d'habitation est la somme des surfaces de plancher de chaque niveau auxquelles on soustrait les surfaces de plancher des combles et sous-sols non aménageables, des toitures-terrasses, des balcons, des loggias et des surfaces non-closes des rez-de-chaussée.

1.2.1. Le rythme rapide de la construction sur le littoral

En 2003, 6,1 millions de m² de nouveaux bâtiments sont sortis de terre dans les communes littorales (DATAR, 2004). La construction de logements dans les zones littorales (communes littorales et arrière-pays) suit globalement les mêmes tendances d'évolution que la construction à l'échelle métropolitaine (figure 25). Depuis 1990, la tendance a été à la baisse, puis à la stagnation jusqu'en 1997, avant d'augmenter jusqu'en 2000, puis de stagner, sans toutefois atteindre le niveau de 1990. Ce n'est que récemment, entre 2003 et 2006 que le niveau de construction dans les communes littorales s'est remis à fortement augmenter (croissance de 25 %), pour cette fois dépasser le niveau de 1990. Cette accélération récente peut partiellement s'expliquer par plusieurs lois (lois de Robien et Borloo) visant à défiscaliser l'investissement locatif (Béoutis *et al.*, 2009).

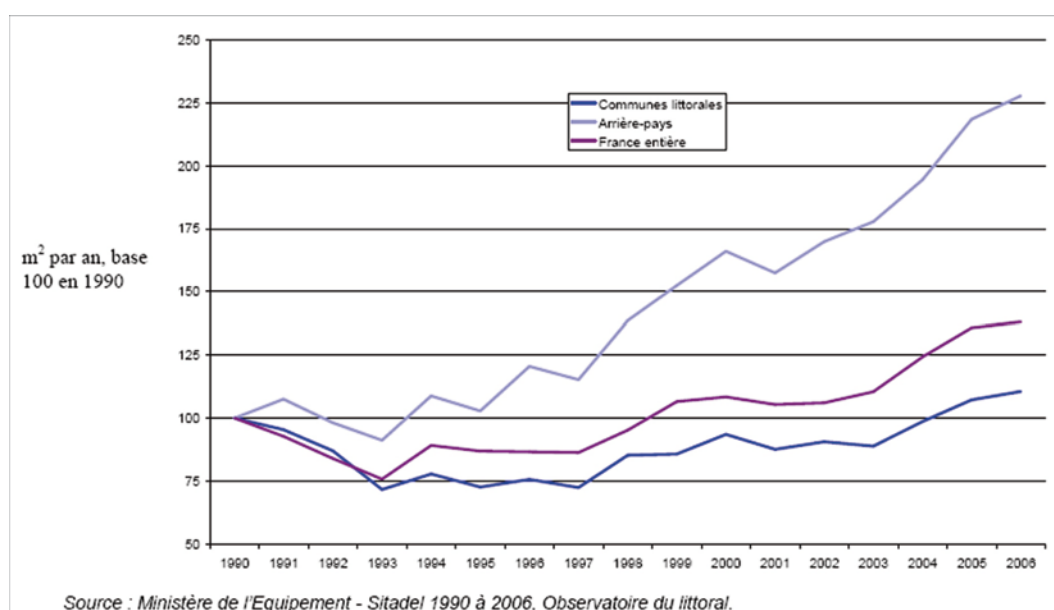


Figure 25 : Evolution des surfaces en logements construites annuellement entre 1990 et 2006 (Béoutis *et al.*, 2009).

En 2006, les superficies construites en logements dans les communes littorales représentaient 10,6% des constructions en France sur 4% du territoire. En valeur absolue, les surfaces consommées dans les communes littorales sont plus importantes que dans l'arrière-pays : plus de 4 millions de m² construits en 2006 sur le littoral contre 1,6 millions dans l'arrière-pays. A l'instar des constatations faites sur l'ensemble du territoire hexagonal, une large part des nouveaux logements construits dans les communes littorales sont des habitations de type individuel. Elles représentent en effet 67,8% de l'ensemble des surfaces de logements construits sur le littoral entre 1990 et 2006. Or cette prédominance de l'habitat individuel au détriment de l'habitat collectif est synonyme d'une consommation accrue d'espace pour un plus petit nombre d'habitants, ce qui pose problème dans un espace restreint et fortement convoité comme l'est le littoral. Nous pouvons toutefois noter depuis 2002 une reprise à la hausse des surfaces construites en logements collectifs, contribuant à la densification du tissu urbain existant.

En 2006, les nouveaux logements construits dans les communes littorales étaient essentiellement des résidences principales (85,3 %) (figure 26). Elles représentent 83% des surfaces de logements construits sur le littoral entre 1990 à 2006. Leur construction a fortement diminué jusqu'en 1993 et a tendance à augmenter de nouveau depuis 1997 du fait certainement des différentes aides fiscales à l'investissement locatif (figure 26). La construction de résidences secondaires ne représente donc que 17% des surfaces de logements construits sur le littoral entre 1990 et 2006. Cette proportion peut sembler plutôt faible, mais sur l'ensemble du territoire métropolitain, la construction de résidences secondaires pour la même période ne représentait que 4,5 % du total des logements construits. Elle est de plus d'importance variable en fonction des littoraux : leur construction est plus importante sur la façade atlantique que dans la région PACA par exemple.

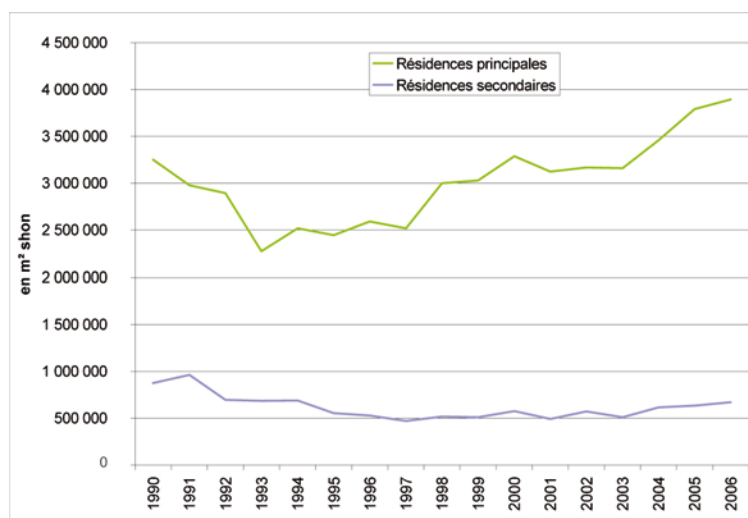


Figure 26 : Evolution de la construction de résidences principales et secondaires dans les communes littorales entre 1990 et 2006 (Béoutis *et al.*, 2009).

Mais les communes littorales arrivent progressivement à saturation, et la comparaison des rythmes de construction dans les communes littorales et les communes de l'arrière-pays met en évidence la diffusion du phénomène d'artificialisation vers les zones rétro-littorales (figure 25). En valeur relative, les surfaces de logements construits dans l'arrière-pays entre 1990 et 2006 ont été multipliées par 2,3 (contre 1,1 dans les communes littorales et 1,4 pour le territoire hexagonal). Sur la plupart des littoraux, la très forte pression foncière liée à une demande largement supérieure à l'offre entraîne mécaniquement une raréfaction progressive des ressources foncières et immobilières disponibles, et donc une hausse des prix du foncier. Une certaine catégorie de la population, principalement les jeunes actifs et les plus démunis, se retrouve alors dans l'impossibilité de se porter acquéreur d'un bien dans une commune littorale, d'où leur déplacement vers l'arrière-pays où les prix sont moins élevés (Dantas, 2010).

A cette forte croissance de la construction de logements il convient d'ajouter la construction de locaux à vocation non résidentielle (bureaux, bâtiments industriels, commerciaux ou agricoles, lieux de stationnement, équipements collectifs, etc). Les surfaces construites en locaux non résidentiels sont un peu plus faibles que les surfaces construites en logements,

mais la construction de nouveaux locaux dans les communes littorales a tout de même consommé 2,4 millions de m² en 2003.

L'artificialisation des territoires littoraux est avant tout le fait de la construction de nouveaux logements destinés à l'habitat permanent ou secondaire. Mais la zone côtière est un territoire où les activités économiques sont présentes et où l'économie résidentielle est en forte croissance, ce qui implique également la construction de locaux non résidentiels de type bureaux, locaux, industriels, locaux agricoles (hangars), etc.

1.2.2. La densification des infrastructures de transport

La densification urbaine du littoral s'accompagne d'un développement continu des infrastructures de transport. L'accessibilité aux territoires littoraux s'est généralisée au niveau national, ce qui s'est traduit par un développement du maillage autoroutier. Les liaisons ferroviaires et aériennes se sont également développées, rendant le littoral métropolitain plus accessible et donc potentiellement plus attractif (figure 27).

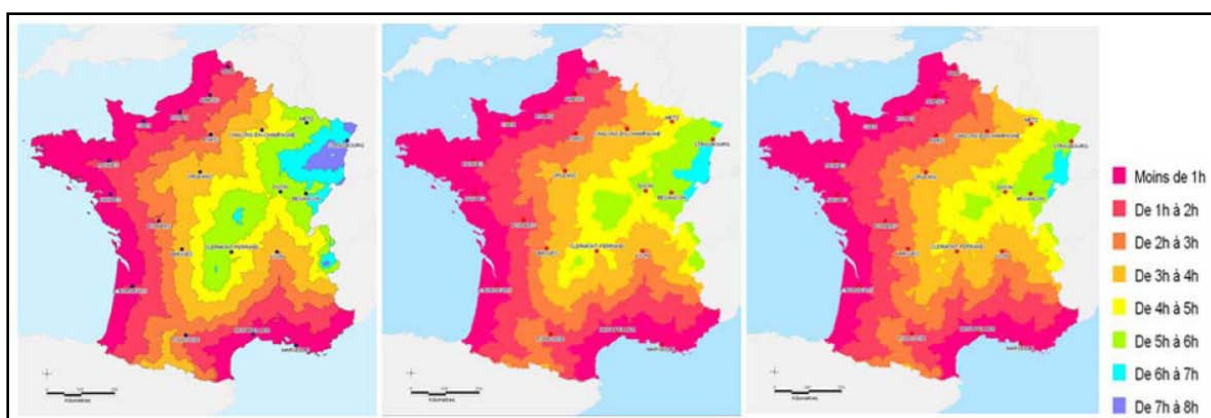


Figure 27 : Evolution des temps d'accès au littoral en 1986, 1996 et 2006 (DIACT, 2007).

Le maillage routier au sein des communes littorales s'est également considérablement densifié. Dans un contexte de desserrement de l'habitat et de polarisation de l'emploi, les migrations pendulaires et les mouvements entre communes littorales et communes rétro-littorales ont progressé, accompagnant l'émergence d'une organisation spatiale de type périurbaine. Sur dix ans, la part des personnes résidant et travaillant sur la même commune a diminué de près de 10 %, passant de 51 à 42 % à l'échelle de l'ensemble des départements littoraux (DIACT, 2007).

La densification du réseau routier, nécessaire au fonctionnement du littoral, contribue de fait à une artificialisation toujours plus importante des zones proches du rivage et à la consommation de l'espace disponible. Une augmentation de la fréquentation et du trafic implique en effet une densification et / ou un élargissement du réseau existant, la multiplication des échangeurs et des voies afin de fluidifier au maximum la circulation des véhicules (Di Salvo et Pitaval, 2007).

1.2.3. Impact de l'artificialisation des zones côtières sur l'occupation des sols

Entre le desserrement de l'habitat lié à la multiplication des logements individuels et l'utilisation des terres pour l'installation des lotissements périurbains et leurs dessertes, la consommation de la ressource non renouvelable qu'est l'espace disponible sur le littoral est exponentielle. Afin de quantifier les mutations récentes de l'occupation et de l'utilisation des sols sur le littoral français, l'Observatoire du Littoral a réalisé des études statistiques en se basant sur les données françaises du programme CORINE Land Cover.

1.2.3.1. L'occupation des sols sur le littoral métropolitain

Le littoral métropolitain est déjà densément artificialisé. En 2006, 13,8 % des communes littorales sont artificialisées, contre 5,1 % pour la moyenne nationale. La proportion des terres agricoles dans les communes littorales est inférieure à la moyenne hexagonale tandis que la proportion des zones « naturelles et semi-naturelles » (forêts et milieux naturels et semi-naturels associés aux zones humides) y est légèrement surreprésentée (figure 28).

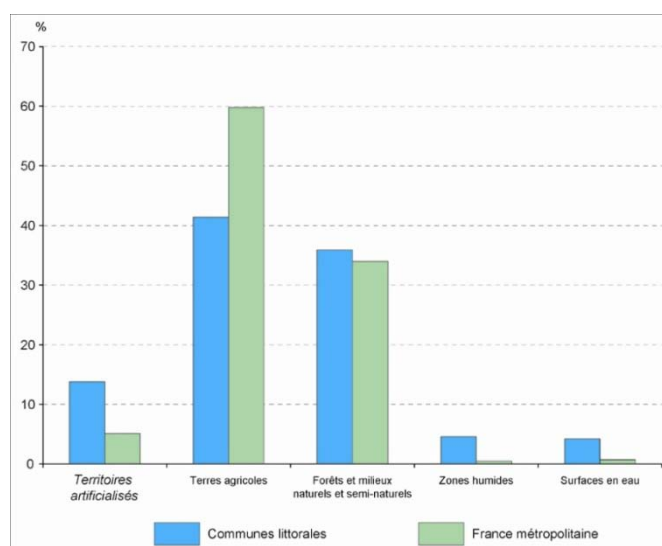


Figure 28 : Occupation des sols en 2006 dans les communes littorales et en France Métropolitaine (Béoutis *et al.*, 2009).

La part respective des terres artificialisées, terres agricoles et zones naturelles et semi-naturelles n'est pas la même selon les façades littorales : les littoraux situés entre la Picardie et la région Poitou-Charentes sont ainsi plus agricoles que la moyenne des littoraux français, tandis que les forêts sont surreprésentées sur le littoral aquitain et dans la région PACA.

L'analyse de l'occupation des sols en fonction de la distance à la mer permet de mettre en évidence la saturation par l'artificialisation des espaces les plus proches du rivage (situés à moins de 500 m du trait de côte). En 2006, les espaces artificialisés y étaient plus importants, à l'inverse des terres agricoles. Plus on s'éloigne du trait de côte et plus la part des territoires artificialisés diminuent, tandis que la proportion des terres agricoles augmente. La part des zones naturelles et semi-naturelles est légèrement plus élevée sur le bord de mer qu'à l'intérieur des terres (figure 29).

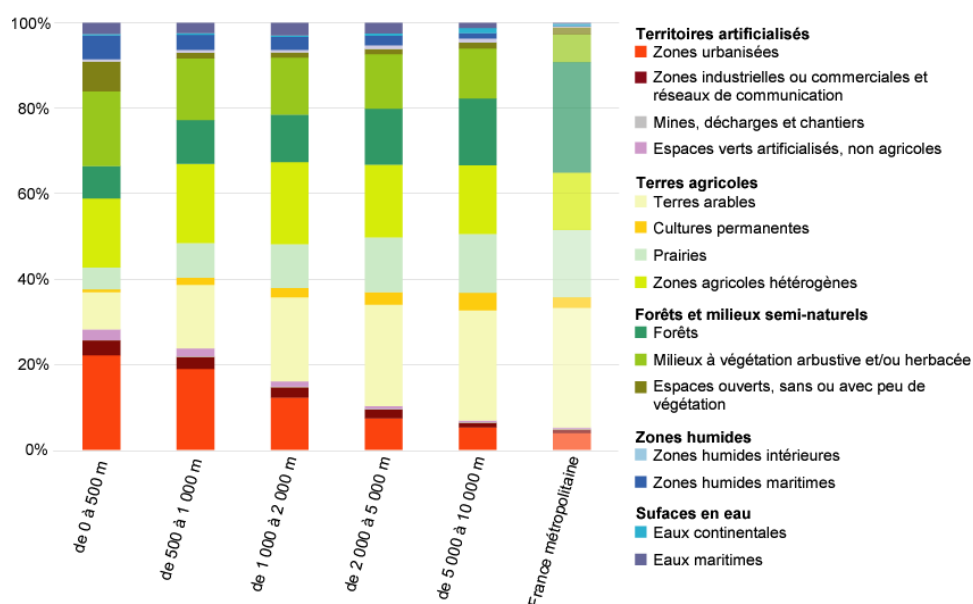


Figure 29 : Répartition des principaux types d'occupation des sols en 2006 en fonction de la distance à la mer (Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).

1.2.3.2. Les changements d'occupation des sols sur le littoral métropolitain

La part des territoires affectée par des changements entre 2000 et 2006 est plus importante sur les littoraux (1,75 %) que sur l'ensemble du territoire métropolitain (0,67 %). L'évolution de l'artificialisation dans les communes littorales est plus importante que dans le reste du territoire français (figure 30). L'artificialisation du littoral métropolitain s'effectue essentiellement au détriment des milieux naturels et des terres agricoles. Depuis 1986, les départements littoraux ont perdu 1 700 km² d'espaces naturels et de terres agricoles au bénéfice des espaces artificialisés (DIACT, 2007).

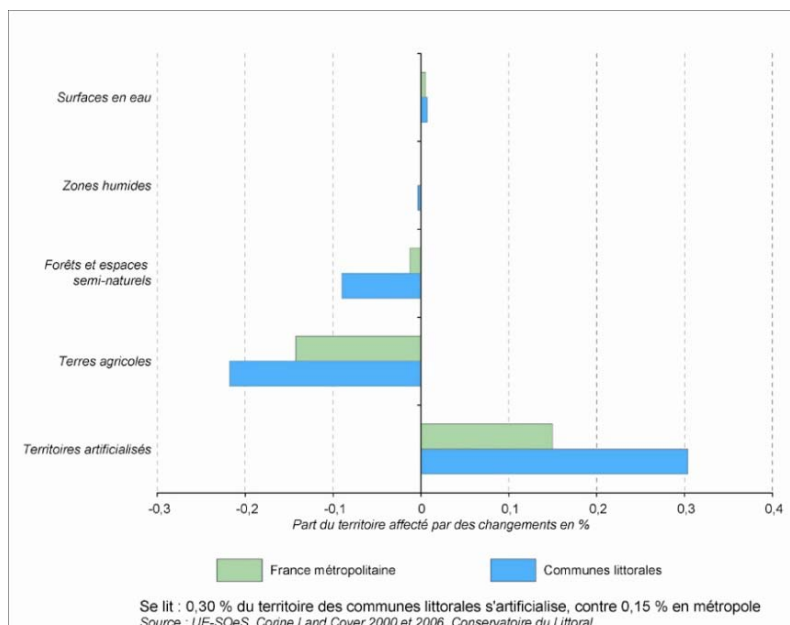


Figure 30 : Part du territoire affecté par des changements d'occupation des sols, entre 2000 et 2006, par grands types de postes d'occupation des sols (Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).

L'analyse des changements d'occupation des sols en fonction de la distance à la côte met en évidence le fait que les espaces les plus proches de la mer enregistrent les changements d'occupation des sols les moins importants. L'artificialisation des sols est plutôt limitée dans la bande située à moins de 500 m du trait de côte, en raison sans doute de la protection instaurée par la loi Littoral dans la bande des 100 m de distance à la côte et dans les espaces proches du rivage⁵⁹ (cf p.86). Cette artificialisation qui se trouve donc bornée par les dispositifs législatifs dans les espaces les plus proches du trait de côte et par une certaine saturation de l'espace se reporte mécaniquement en arrière du littoral, puisque c'est dans la bande se trouvant à une distance comprise entre 500 et 2 000 m du trait de côte que l'artificialisation du territoire a été la plus forte entre 2000 et 2006, soit 0,42 % (figure 31).

59. La loi Littoral détermine les conditions d'utilisation et de mise en valeur des espaces terrestres, maritimes et lacustres. Elle s'applique aux communes riveraines des océans, mers, étangs salés et plans d'eau naturel ou artificiel de plus de 1000 hectares. Loi d'aménagement et d'urbanisme, elle comporte différents dispositifs visant à protéger le patrimoine naturel et les paysages littoraux. Les plus connus de ces dispositifs sont celui relatif à la maîtrise de l'urbanisation d'une part (non constructibilité dans la bande littorale des 100 m et extension limitée de l'urbain dans les communes littorales) et celui relatif à la protection des espaces et des milieux naturels.

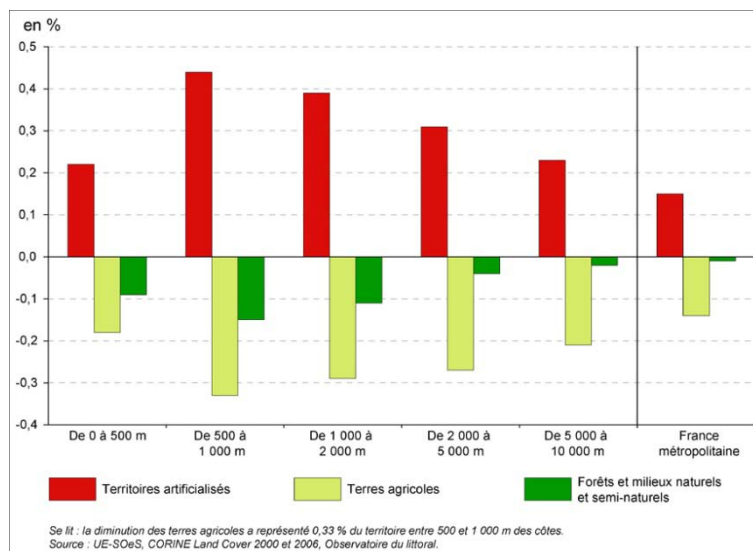


Figure 31 : Evolution de l'occupation des sols entre 2000 et 2006 en fonction de la distance à la mer (d'après Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).

Nous avons vu que les terres agricoles déjà sous-représentées sur le littoral enregistrent un recul de leurs surfaces avec une perte de 24 000 ha entre 1996 et 2006 (DIACT, 2007). L'artificialisation du littoral a très largement contribué à ce recul des terres agricoles. Les milieux naturels littoraux abritent quant à eux des habitats très spécifiques justifiant des mesures de protection appropriées. La sauvegarde de ces milieux spécifiques représente donc un enjeu important pour la protection de l'environnement en France.

L'artificialisation de la zone côtière française ne cesse de croître car elle attire toujours plus de nouveaux résidents. La construction de nouveaux logements est en augmentation ce qui entraîne une importante consommation des terres au détriment des zones naturelles et des terres agricoles. Dans ce contexte, la maîtrise de la construction et la réflexion autour de la capacité d'accueil des espaces littoraux devient progressivement une question centrale (DATAR, 2004 ; Pottier, 2005 ; Pottier *et al.*, 2009). Les gestionnaires et élus cherchent à faire cohabiter des usages et des intérêts parfois divergents, et à appliquer des modalités de gestion et de développement plus économes en ressource spatiale. C'est dans ce sens que depuis environ quarante ans des outils de gestion spécifiques au littoral sont mis au point pour limiter l'impact des pressions exercées par les hommes sur les littoraux français.

1.3. 50 ans de gestion de la zone côtière en France

En France, les approches sectorielles « classiques » ont abouti à un empilement de règlements, de schémas d'aménagement, de lois, de périmètres de protection et à de pesantes procédures administratives associées. Les années 1970 marquent le début de la prise de conscience du caractère spécifique du littoral. Le rapport Piquard (DATAR, 1973) est souvent retenu comme le point de départ d'une véritable politique française de protection du littoral. Il constitue un premier état des lieux des littoraux, assorti de vagues propositions d'aménagement sous la forme notamment de zonages de l'espace terrestre littoral. La

création du Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL)⁶⁰ en 1975, dont la mission principale est de protéger les espaces littoraux par la maîtrise foncière, est une de ses conséquences. La gestion sectorielle des littoraux s'est ensuite progressivement orientée vers une démarche intégrée comme le préconise la Gestion Intégrée de la Zone Côtière, mise en œuvre au niveau international. Actuellement certains considèrent que la GIZC doit évoluer comme en témoigne la proposition 68 du Livre Bleu des engagements du Grenelle de la Mer⁶¹ (2009). Elle préconise de « passer de la gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) à la gestion intégrée de la mer et du littoral (GIML) », car l'ambition est de redonner au domaine maritime sa place dans les débats, dans la réflexion et dans la planification stratégique, relatifs aux littoraux.

1.3.1. Avant la GIZC

1.3.1.1. Les SAUM et SMVM

En 1973, le rapport Piquart préconisait la création de Schémas d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer (SAUM), documents de planification spatiale pour l'usage et le développement du littoral. Quatre SAUM expérimentaux furent initiés (rade de Brest, golfe du Morbihan, pertuis Charentais, rade de Hyères), mais le concept ne fut pas généralisé, et les SAUM furent remplacés en 1983 par les SMVM.

Le but des SAUM était de planifier les activités en mer et sur le littoral et d'organiser la concertation, pour élaborer un guide de gestion d'une unité maritime sensible (Guineberteau, 1994). En fonction des SAUM, la partie terrestre de la zone côtière était plus ou moins prise en compte (la part dédiée à la partie terrestre est faible pour le SAUM du bassin d'Arcachon et forte pour le SAUM de la rade de Brest). Il n'était toutefois pas spécifiquement fait référence à la présence des hommes sur le littoral, et aucune mesure spécifique n'a été proposée pour limiter les impacts d'une croissance démographique sur ces espaces.

Les SMVM⁶² concernent une partie du littoral présentant une unité géographique et maritime cohérente. Ils ont pour but d'en préciser la vocation et d'assurer la cohérence entre ses différents usages et notamment entre la protection de l'environnement et le développement économique. Une importance spécifique est donnée à la mer. La prise en compte de la pression humaine sur le littoral varie selon les projets. Dans le cas du SMVM du Golfe du Morbihan approuvé en 2006⁶³, une des orientations thématiques s'intitule : « Contenir l'urbanisation et préserver les paysages ». Le SMVM du Bassin d'Arcachon, approuvé en

60. Le CELRL dit « Conservatoire du Littoral » est un établissement public de l'Etat créé en 1975. Il mène une politique foncière visant à la protection définitive des espaces naturels et des paysages sur les rivages maritimes et lacustres français. Pour mener à bien sa mission de protection, il acquiert des terrains fragiles ou menacés, remet ces espaces en état et en confie la gestion à des communes, des collectivités locales ou des associations. Pour plus de détails : <http://www.conservatoire-du-littoral.fr>.

61. Cf point 1.3.3 du présent chapitre.

62. Depuis le décret 2007-1586 du 8/11/2007, les SMVM sont directement intégrés dans les Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) sous la forme d'un chapitre spécifique intitulé « Volet Mer » et ayant valeur de SMVM.

63. Le rapport du SMVM du Golfe du Morbihan est disponible ici :

http://www.morbihan.pref.gouv.fr/sections/les_documents_de_ref/schema_de_la_mise_en/view

2004, contient lui aussi un volet consacré à l'augmentation de la présence humaine sur la partie terrestre du bassin et à ses conséquences, notamment sur la qualité des eaux⁶⁴.

1.3.1.2. Un outil législatif à terre : la « loi Littoral »

La loi n°86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, dite « loi Littoral » est à juste titre considérée comme la mesure réglementaire phare en France en matière de protection du littoral. L'article premier de cette loi en expose clairement et succinctement les objectifs (encadré 1).

Article L321-1 du Code de l'Environnement, dispositions générales relatives à la protection et à l'aménagement du littoral

I – Le littoral est une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur.

II – La réalisation de cette politique d'intérêt général implique une coordination des actions de l'Etat et des collectivités locales, ou de leur groupement, ayant pour objet :

- 1° La mise en valeur d'un effort de recherche et d'innovation portant sur les particularités et les ressources du littoral ;
- 2° La protection des équilibres biologiques et écologiques, la lutte contre l'érosion, la préservation des sites et paysages et du patrimoine ;
- 3° La préservation et le développement des activités économiques liées à la proximité de l'eau, telles que la pêche, les cultures marines, les activités portuaires, la construction et la réparation navale et les transports maritimes ;
- 4° Le maintien ou le développement, dans la zone littorale, des activités agricoles ou sylvicoles, de l'industrie, de l'artisanat et du tourisme.

Encadré 1 : Principes généraux de la loi Littoral.

Cette loi a abouti à l'insertion, dans le Code de l'Urbanisme, d'un chapitre spécifique intitulé « dispositions particulières au littoral ». Il était en effet devenu nécessaire de mettre en place des règles d'urbanisme opposables aux collectivités, puisqu'elles étaient devenues responsables de l'élaboration et de l'application de documents d'urbanisme suite à la loi de décentralisation de 1982. La loi Littoral est la première manifestation d'une volonté de « développement équilibré » entre protection de la nature et développement économique sur la partie terrestre du littoral. L'articulation de cette loi avec tous les autres documents d'urbanisme (Plan Locaux d'Urbanisme (PLU) communaux, SCOT des intercommunalités) en fait aujourd'hui un outil réglementaire puissant et efficace. Cette loi a fait l'objet de plusieurs rapports et bilans (DATAR, 2004 ; DIACT, 2007 ; Le Guen, 2004 ; Martinez, 2006 ; Gélard, 2004), dont certains émanent de parlementaires. Ainsi Gélard (2004) et Le Guen (2004) constatent que la loi est devenue un instrument d'urbanisme confié à la libre appréciation des juges, la faisant ressentir comme excessivement contraignante par les élus locaux. Ces rapports mettent en avant la diversité des situations rencontrées sur le littoral français, et dénoncent les effets pervers du champ d'application de la loi aux communes littorales d'emprise spatiale variable.

A l'inverse, le rapport de la DIACT (2007) souligne que la loi Littoral n'a en aucun cas empêché le développement économique des littoraux, qu'elle n'a pas non plus contrecarré

64. Le rapport du SMVM du Bassin d'Arcachon est disponible ici : <http://www.aquitaine.pref.gouv.fr/politiques/devdurable/smvm/Schemamer/A-rapp.present.pdf>

les profondes évolutions structurelles qui les ont affectés (et dont témoigne l'augmentation toujours plus forte de la population littorale). Par contre elle a permis d'amortir les effets liés à la pression toujours plus forte exercée sur les littoraux en limitant le recul des espaces naturels par l'action du Conservatoire du Littoral. Au regard de ce bilan, la DIACT estime qu'une politique spécifique aux littoraux est toujours nécessaire, politique au sein de laquelle la loi Littoral doit continuer à tenir sa place. Le rapport de l'UICN sur la question (Martinez, 2006) va encore plus loin en dénonçant une érosion et un assouplissement progressifs de la loi contribuant à la vider de son sens, et préconise une application plus stricte des dispositifs prescrits.

Si la loi Littoral n'a pas empêché la poursuite de l'artificialisation sur le littoral et le développement économique des littoraux, on peut toutefois penser qu'elle a permis de contenir la consommation des terres littorales dans des limites « raisonnables ». On peut s'interroger sur ce que seraient les littoraux métropolitains aujourd'hui sans cette loi, indépendamment des questions inhérentes à son application parfois difficile que dénoncent certains parlementaires. De fait, il apparaît que la prise en compte de la multitude de cas particuliers serait potentiellement une porte ouverte à l'affaiblissement de la portée réglementaire de la loi, et pourrait avoir comme conséquence l'artificialisation des littoraux jusqu'alors préservés.

1.3.2. La GIZC

Ni les SAUM ni les SMVM, élaborés dans les années 1980 et 1990, n'ont abouti de façon concluante à des actions concrètes du fait de l'absence de réelle volonté politique (Euzenes et Le Foll, 2004). La GIZC⁶⁵ s'est ensuite progressivement imposée, permettant de sortir d'une vision purement législative de la gestion des espaces littoraux (Bersani *et al.*, 2006).

En 2005, la DIACT et le Secrétariat Général à la mer lancèrent conjointement un appel à projet à destination des acteurs du littoral intitulé « Pour un développement équilibré des territoires littoraux par une gestion intégrée des zones côtières »⁶⁶. Ce programme avait pour but d'encourager des expérimentations de terrain autour de projets concrets, et de faire émerger des pratiques et des méthodes adaptées aux besoins des territoires littoraux et aux volontés locales. Les projets devaient s'inscrire dans le cadre général d'une gestion intégrée des zones côtières.

Le « Grenelle de la Mer »⁶⁷ est une consultation organisée par le gouvernement français en juillet 2009 sous forme de réunions publiques de réflexion et de négociation entre l'Etat, les acteurs économiques concernés par la mer, et la société civile. Pour ce qui concerne l'aménagement de la partie terrestre de la zone côtière, les préconisations majeures qui en découle sont de s'appuyer sur les outils de planification spatiale existants pour organiser l'aménagement et la gestion intégrée de la zone côtière, et entre autres propositions de

65. La Recommandation du Parlement et du Conseil européen du 30 mai 2002 a fixé le cadre de la GIZC en Europe. Le rapport de la Commission Environnement Littoral évoque le concept de GIZC pour la première fois en France en 2002 en choisissant de mener la réflexion qui lui était demandée pour l'aménagement et la protection du littoral sous l'angle de la gestion intégrée des littoraux (Commission Environnement Littoral, 2002). La mise en œuvre de la GIZC en France est officialisée par le Comité Interministériel de la Mer le 29 avril 2003.

66. <http://www.territoires-littoraux.com/>

67 Les tables rondes relatives au Grenelle de la Mer ont retenu une centaine de propositions recensées dans le « Livre Bleu des engagements du Grenelle de la mer » (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, 2009).

relancer la désignation des espaces littoraux remarquables, et de travailler autour de la notion de capacité d'accueil du littoral.

2. Les dynamiques démographiques et spatiales du littoral breton

La population bretonne est historiquement concentrée sur les littoraux (Ollivro, 2005). L'intérieur de la région est moins peuplé, et les dynamiques de peuplement ont eu tendance au cours des deux derniers siècles à renforcer cette dissymétrie entre littoral et intérieur. Les littoraux bretons sont moins fortement urbanisés que ceux de la région PACA ou du Languedoc-Roussillon, toutefois, la pression anthropique est en forte augmentation sur quelques secteurs comme les communes du Golfe du Morbihan, le littoral du Trégor (la côte de Granit rose), et dans une moindre mesure le littoral sud finistérien. A la question de la littoralisation il convient d'ajouter la problématique de la périurbanisation. A l'exception de Rennes les principaux pôles urbains sont en effet concentrés sur les littoraux et ils drainent une population importante. Plusieurs problématiques connexes se concentrent alors sur les littoraux bretons. Les populations qui y vivent ou s'y installent poursuivent des buts divers et parfois antagonistes : certains visent un usage récréatif du littoral (résidence secondaire pour les vacances et les loisirs, installation dans un cadre de vie agréable à l'âge de la retraite), d'autres y vivent car ils exploitent les ressources de ce littoral (agriculture, pêche), d'autres enfin y vivent et travaillent dans le pôle urbain littoral voisin. Les vocations diverses de cet espace limité ont des conséquences comme par exemple des problèmes de ségrégation foncière, une perturbation des économies locales, ou encore une réduction de la mixité sociale. A l'instar de la situation française, l'attractivité du littoral breton aboutit à une artificialisation importante de certains secteurs liée en partie à la préférence des bretons pour les résidences individuelles (Adeupa-CG 29, 2010), et donc une forte consommation de l'espace disponible, et notamment des terres agricoles. La prise de conscience de ces problématiques est relativement ancienne en Bretagne, comme en témoignent les outils de gestion développés sur ces espaces depuis les années 1970.

2.1. Une population bretonne concentrée sur les littoraux

2.1.1. Des densités de peuplement littoral élevées

A l'échelle régionale, la population bretonne se répartit de façon plus homogène sur l'ensemble de son territoire que la population française métropolitaine : 60 % des Bretons occupent 23,9 % du territoire régional, alors que 60 % des Français de métropole se concentrent sur 8,3 % du territoire associé (Deschamps-Collet, 2009). Toutefois la densité de la population sur le littoral breton est forte et le contraste avec le centre de la région aux densités de peuplement bien plus faibles est bien marqué (figure 32). Cette répartition inégale de la population bretonne est l'héritage d'une opposition ancienne entre l'« Armor » (pays de la mer) et l'« Argoat » (pays de la terre), et d'une attirance historique pour le bord de mer, les fonds d'estuaires étant des sites d'installation privilégiés (villes de Morlaix, Landerneau, Quimper) (Ollivro, 2005).

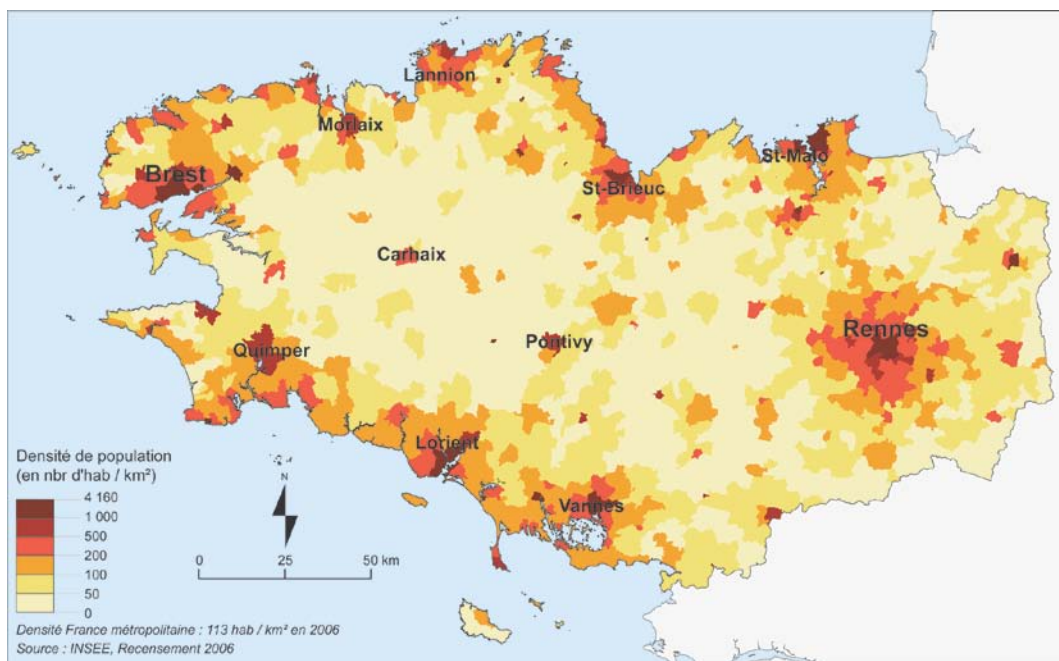


Figure 32 : Densité de population en Bretagne en 2006 (source : INSEE).

Le parallèle entre les caractéristiques physiques de la Bretagne et la répartition de sa population révèle que les plaines côtières basses sont privilégiées au détriment de l'intérieur de la région, plus « montagneux » et surtout moins fertile.

Les communes littorales représentent 18 % de la superficie de la Bretagne, mais accueillent 40 % des 3 millions de Bretons (Région Bretagne, 2007). La Bretagne compte environ 2 370 km de côtes, ce qui représente 1/3 des littoraux français, et 95 % de sa population vit à moins de 60 km de la mer (Ollivro, 2005). Pour la Région Bretagne, cette spécificité justifie de considérer l'ensemble du territoire breton comme une zone côtière notamment dans le cadre de l'élaboration de ses projets de GIZC et de Charte des espaces côtiers bretons (Région Bretagne, 2007). A l'instar des observations que l'on a pu faire à l'échelle de la France, la localisation de grands pôles urbains sur les littoraux a ponctuellement favorisé une concentration de la population. Des axes densément peuplés se sont ainsi développés, à l'image du littoral sud breton entre Nantes – St-Nazaire et Quimper. Le mouvement de périurbanisation postérieur aux années 1950 est venu renforcer une densité de population littorale déjà forte, et le littoral breton a aujourd'hui une densité de population supérieure à la moyenne nationale (237,6 habitants/km² contre 135,2 habitants /km² pour le littoral français métropolitain d'après l'Observatoire du Littoral-SOeS (2009)). La densité de population littorale a augmenté de 8,9 % entre 1999 et 2006 (Observatoire du Littoral-SOeS, 2009) mais cette tendance n'est toutefois pas généralisable à l'ensemble du bord de mer breton. Il existe quelques « vides » littoraux moins attractifs du fait le plus souvent de leur situation périphérique par rapport aux principaux pôles urbains. C'est notamment le cas du Cap Sizun à l'ouest de Quimper, des secteurs compris entre Morlaix et Lannion, du sud-est de Vannes ou encore des environs du Mont St-Michel à l'est de St-Malo.

2.1.2. Mutations récentes de l'évolution spatiale de la population

Deux phénomènes peuvent être mis en avant par l'étude de la croissance de la population bretonne : la périurbanisation d'une part et la littoralisation d'autre part, même si la présence de grands pôles urbains sur le littoral amène les deux phénomènes à se confondre.

La population bretonne s'est accrue de 0,9 % en moyenne par an entre 1999 et 2006. Les trois quarts de la croissance démographique sont dus aux migrations (Deschamps-Collet, 2009). La carte de l'évolution de la population bretonne au cours des vingt-cinq dernières années (1982-2006) fait très nettement apparaître le phénomène de littoralisation (figure 33). La plupart des littoraux bretons ont vu leur population augmenter entre 1982 et 2006, à différents niveaux d'intensité. La croissance de la population entre Lorient et Vannes, et surtout autour du Golfe du Morbihan, est très forte, tandis qu'elle se fait plus modeste sur les littoraux costarmoricains autour de Lannion. Notons cependant que certains territoires littoraux ont perdu des habitants entre 1982 et 2006 et font aujourd'hui figure de territoires à la marge. Ces territoires sont les « angles morts » littoraux déjà évoqués plus haut, dont la densité de population est déjà faible, et qui peinent à attirer de nouveaux résidents. Le Cap Sizun au sud-ouest du Finistère est la partie du littoral breton qui a perdu le plus d'habitants entre 1982 et 2006. Ces littoraux souffrent de leur éloignement d'un pôle urbain et des principales voies de communication. Ces territoires ne sont donc attractifs ni pour les jeunes actifs qui travaillent dans les pôles urbains, ni pour les résidents secondaires en raison de leur faible accessibilité. Ils subissent par conséquent un vieillissement de leur population sans qu'un apport de population nouvelle ne vienne la renouveler.

Ailleurs, c'est plus spécifiquement autour de sept grandes agglomérations que l'espace côtier breton gagne des habitants, à savoir Vannes, Brest, Lorient, St-Brieuc, Saint-Malo, Quimper et Lannion (Deschamps-Collet, 2009), témoignant du rôle moteur joué par les pôles urbains dans la dynamique démographique des littoraux bretons.

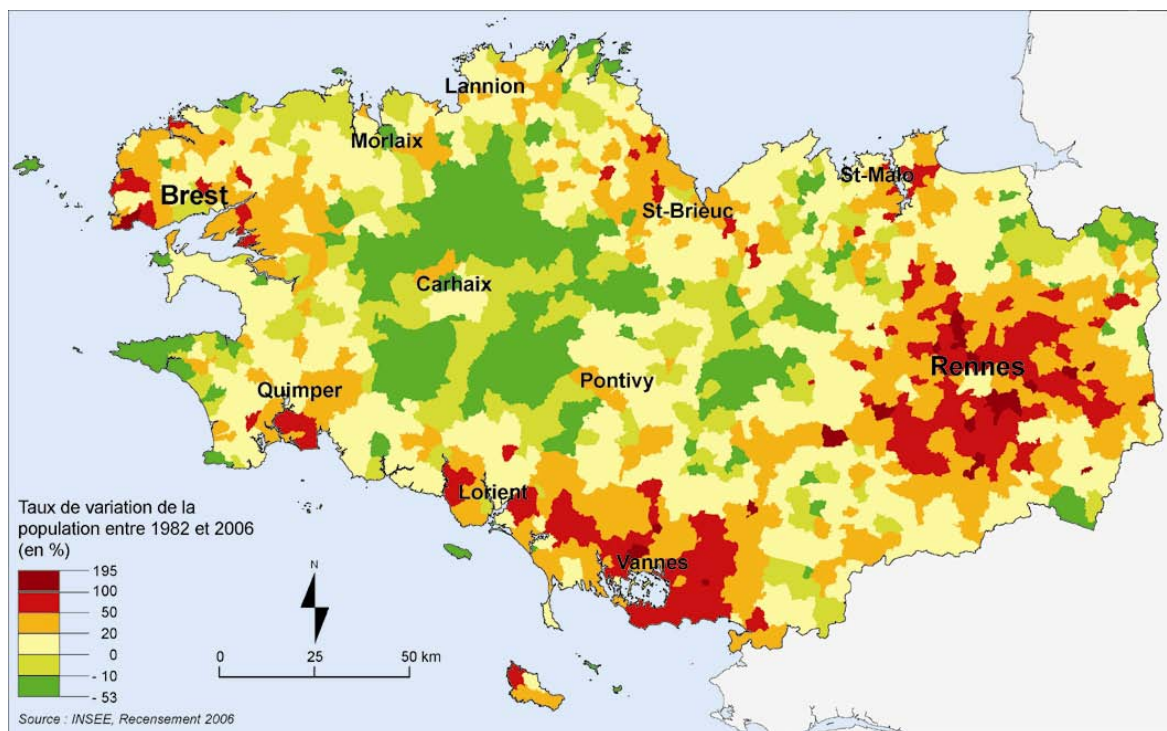


Figure 33 : Evolution de la population bretonne entre 1982 et 2006.

La figure 33 met nettement en évidence le phénomène de périurbanisation autour des principales villes de Bretagne. La croissance de la population est très forte autour de Rennes dans un rayon d'environ 30 kilomètres. Le même constat est également valable autour de Brest, même si le phénomène est moins marqué et borné par la présence de la mer, ainsi qu'autour de St-Brieuc, et dans une moindre mesure de Quimper, de Lannion et de Saint-Malo. L'augmentation de la population est également nette sur le littoral sud, le long de l'axe Lorient – Vannes, dans la prolongation de la conurbation émergente Nantes – Vannes. A l'inverse, le centre Bretagne, et plus particulièrement le secteur situé autour de Carhaix, a perdu beaucoup d'habitants durant cette même période, contribuant à renforcer une inégalité de peuplement préexistante entre le littoral et l'intérieur des terres.

L'évolution de la population sur la période la plus récente (1999-2006), illustrée par la figure 34, montre un étalement de la périurbanisation et un certain recul par rapport au littoral. Certes les communes périurbaines continuent à enregistrer une forte progression de leur population (grande couronne rennaise, conurbation Vannes-Lorient, Lannion, St-Brieuc, St-Malo), mais cette croissance semble s'étaler de plus en plus loin de la ville-centre. Ainsi, depuis 1999, l'espace rural breton a gagné de la population tandis que la croissance de l'espace urbain ralentit. Certaines villes-centre perdent même des habitants : Brest (-5 000), St-Malo (-1 000), Lorient (-700). Les nouveaux habitants des espaces ruraux sont de jeunes actifs, souvent avec des enfants en bas âge ainsi que dans une moindre mesure de jeunes retraités (Rieu, 2011). Cette vitalité démographique récente de l'espace rural illustre une nouvelle étape de l'urbanisation du territoire : les modes de vie et les facteurs économiques poussent les travailleurs à habiter de plus en plus loin de leur lieu de travail (Deschamps-Collet, 2009).

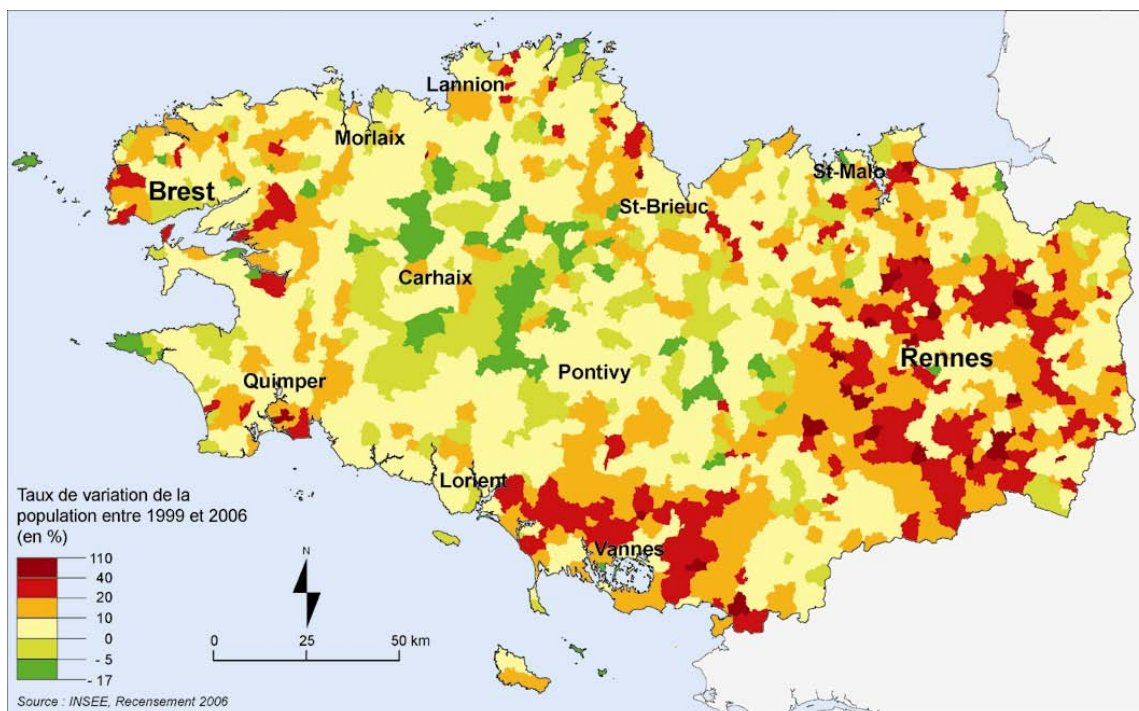


Figure 34 : Evolution de la population bretonne entre 1999 et 2006 (source : INSEE).

La figure 34 illustre également l'amorce d'un phénomène de diffusion rétro-littorale de la population, notamment dans le sud autour de Vannes où apparaît un axe de peuplement Vannes-Pontivy. La population active travaillant à Vannes est en effet aujourd'hui repoussée parfois très loin dans l'arrière-pays en raison notamment des coûts fonciers de plus en plus élevés sur le littoral (Sonnac, 2009).

2.1.3. Une croissance démographique tirée par les migrations

A l'opposé de la période précédant les années 1950, au cours de laquelle la population bretonne se concentrait préférentiellement sur le littoral pour des raisons économiques et alimentaires (pêche, agriculture, industries), l'augmentation récente de la densité de population sur les littoraux bretons s'explique par trois phénomènes conjoints : la périurbanisation littorale induite par la présence de grands pôles urbains sur les côtes, le retour des retraités au pays et leur installation préférentielle sur le bord de mer, l'émergence d'une littoralisation de caractère plus contemplatif ou ludique qui est surtout le fait de personnes extérieures au pays (Ollivro, 2005).

La Bretagne est une région qui attire les personnes de plus de 60 ans. Elle se situe au 3^{ème} rang des régions françaises pour le solde migratoire des seniors, même si celui-ci s'explique plutôt par un faible taux de sorties que par un taux élevé d'entrées (Moro, 2007). La part des retraités dans les flux migratoires bretons est certes assez faible (14 % des migrants), mais ils s'installent de façon préférentielle sur le littoral (figure 35) (Baudequin, 2009).

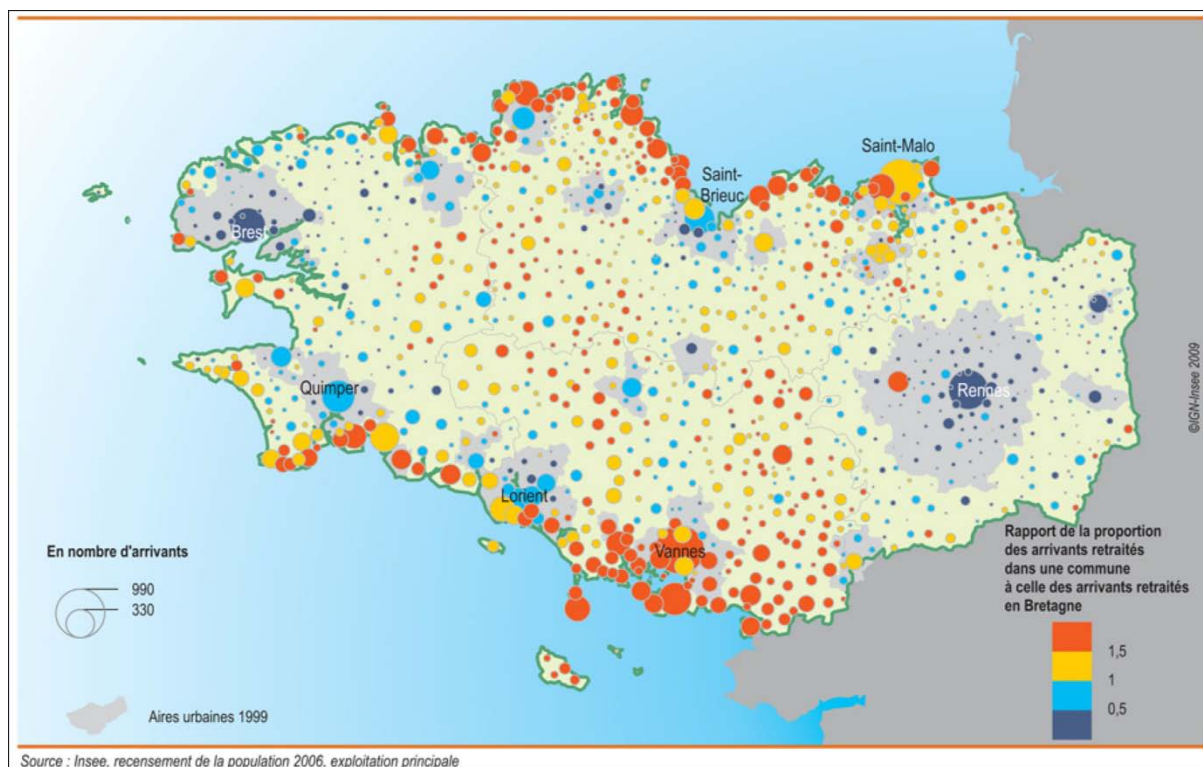


Figure 35 : Répartition des nouveaux arrivants retraités en Bretagne en 2006 (Baudequin, 2009).

La croissance de la population dans les pôles urbains, les communes périurbaines et le littoral s'explique donc avant tout par l'arrivée de jeunes actifs, de ménages jeunes et d'enfants, qui constituent la très grande majorité des nouveaux arrivants en Bretagne. Les dernières analyses démographiques indiquent une revitalisation de l'espace rural breton, même éloigné des villes, par l'afflux d'une population active jeune (Rieu, 2011).

Ces mouvements de population amènent progressivement une recomposition sociale de certaines communes littorales, comme par exemple dans la presqu'île de Rhuys sur le Golfe du Morbihan (Sonnec, 2009). En effet, la part de la population active est moins importante dans les communes littorales, tandis que la proportion de personnes âgées de plus de 64 ans y est plus élevée. Dans certaines communes littorales, la proportion d'actifs a tellement chuté qu'elles ne sont quasiment plus habitées que par des retraités et des résidents secondaires (Sonnec, 2009 ; Lebahy et Le Délézir, 2006). D'un littoral breton habité et utilisé à des fins économiques et productives jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, on est progressivement passé à un littoral « ludique, récréatif et contemplé » (Ollivro, 2005).

La densité de population sur le littoral breton est élevée, tandis que la croissance de la population littorale bretonne se poursuit. Toutefois, un phénomène de rétro-diffusion littorale commence à apparaître.

2.2. Urbanisation du littoral et maîtrise foncière

2.2.1. Une vitesse de construction soutenue sur le littoral

L'attractivité qu'exerce la zone côtière sur les populations s'accompagne inévitablement d'une urbanisation et d'une pression foncière croissante. Le phénomène est particulièrement marqué en Bretagne. En effet les côtes bretonnes totalisent à elles seules près du tiers des superficies construites en logements individuels sur l'ensemble du littoral français (Observatoire du Littoral-SOeS, 2009). La question de l'artificialisation des littoraux bretons par la construction de nouveaux logements est donc aujourd'hui une problématique majeure pour la région, d'autant plus que si la dynamique démographique se prolongeait, la population bretonne pourrait croître de 14 % à l'horizon 2030 (Ramonet, 2009) en gagnant 370 000 ménages supplémentaires (Luong et Rul, 2008).

Le modèle breton de construction est particulièrement gourmand en espace, dans le sens où l'habitat individuel est très largement privilégié. Ainsi, même si la taille moyenne des parcelles à vocation d'habitat a fortement diminué depuis le début des années 1980, elle semble avoir atteint un palier et reste relativement importante (environ 1000 m² par logement). Entre 1999 et 2007, 265 000 nouveaux logements ont été construits en Bretagne, particulièrement autour du Golfe du Morbihan et en Ile-et-Vilaine autour de Rennes (Luong et Rul, 2008) (figure 36). Le taux de construction annuel moyen sur l'ensemble des littoraux bretons est soutenu, principalement autour des grandes agglomérations (Brest, Lannion, St-Brieuc, St-Malo). Le parallèle avec l'évolution de la population durant cette même période est très clair. La consommation de l'espace à des fins urbanistiques est plus intense dans des secteurs déjà densément peuplés, et donc urbanisés, entraînant de fait une compétition foncière parfois très inégalitaire et une dégradation préjudiciable du paysage.

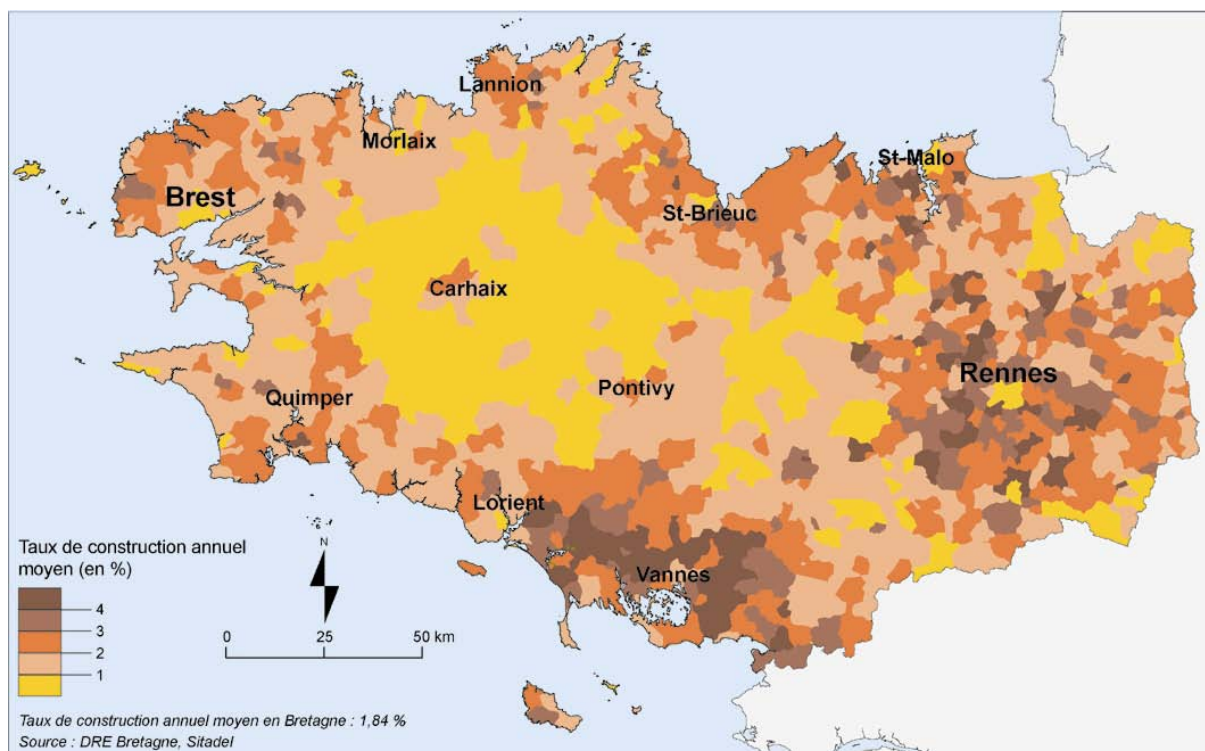


Figure 36 : Taux de construction annuel moyen par commune entre 1999 et 2007 (Source : INSEE).

Si la majorité des nouveaux logements bretons construits sont destinés à une résidence permanente (Observatoire du Littoral-SOeS, 2009), la question des résidences secondaires en Bretagne est loin d'être une question annexe. En effet en 2006, les résidences secondaires représentaient 19 % de l'ensemble des logements bretons (Levy, 2008). Le littoral breton totalise à lui seul 31,4% des surfaces construites en résidences secondaires sur le littoral métropolitain en 2006, cette part ayant doublé depuis 1990 (Observatoire du Littoral-SOeS, 2009). Le littoral apparaît particulièrement concerné par ce phénomène puisqu'en 2001, 67,9 % des résidences secondaires bretonnes s'y concentraient (Observatoire Régional du Tourisme Bretagne, 2004).

Par conséquent, qu'elle soit le fait de résidences principales ou secondaires, la pression immobilière se fait de plus en plus forte sur le littoral breton. Il convient toutefois de distinguer pression foncière et niveau de construction. En effet, si les littoraux de certains départements méditerranéens sont désormais saturés, ce qui se traduit par une stagnation du niveau de construction, d'autres départements comme la Gironde ou le Finistère disposent encore de très vastes espaces littoraux non urbanisés. Le niveau de construction important y est donc associé à une pression foncière encore modérée (Observatoire du Littoral-SOeS, 2009).

2.2.2. Une consommation de l'espace pour l'habitat au détriment des terres agricoles

Malgré les innovations technologiques et le développement des productions « hors-sol », la proximité de la mer demeure un facteur favorable au déroulement de certains types d'activités agricoles : maraîchage, horticulture (Ollivro, 2005). L'attractivité résidentielle récente du littoral entraîne une compétition spatiale avec l'activité agricole. En effet les

surfaces consommées pour l'urbanisation en Bretagne en constante augmentation depuis le début des années 1990, sont très largement supérieures à celles des autres régions de la façade atlantique (figure 37).

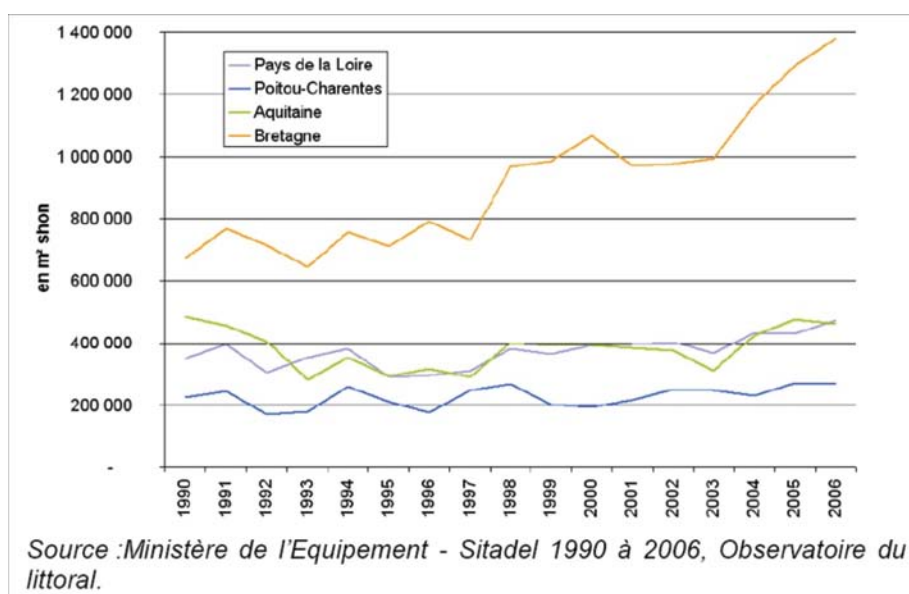


Figure 37 : Surfaces construites sur la façade atlantique entre 1990 et 2006 (Observatoire du Littoral, 2009).

La figure 38 montre que la consommation de l'espace pour l'artificialisation s'effectue sur les littoraux bretons quasi exclusivement au détriment de terres agricoles. Cette tendance découle vraisemblablement de la surreprésentation des terres agricoles dans les communes littorales bretonnes par rapport à la moyenne nationale (70,1 % contre 41,4 %).

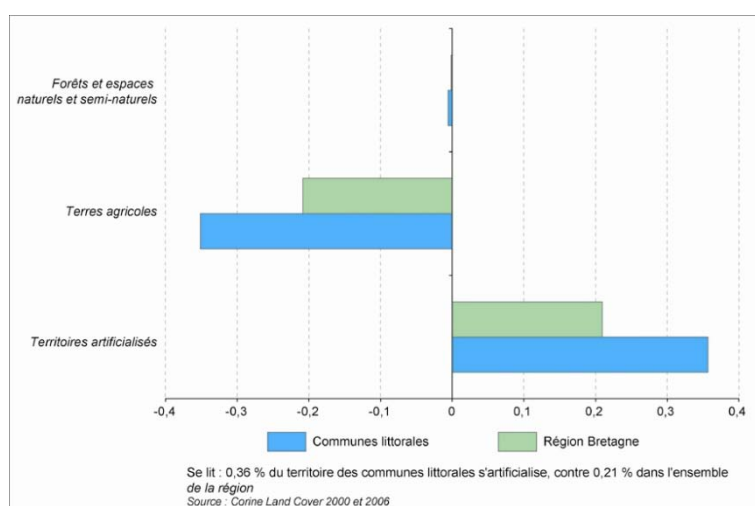


Figure 38 : Evolution de l'occupation des sols en Bretagne entre 2000 et 2006 (source : CORINE Land Cover 2000, 2006).

Ainsi, sur le littoral comme dans les communes rurales périurbaines, le recul des espaces agricoles vivement concurrencés par l'urbanisation se traduit par l'accroissement des conflits

d'intérêts. En effet, pour ses nouveaux habitants, l'espace rural est avant tout considéré à travers sa vocation résidentielle ; d'un espace de production on passe ainsi à un cadre de vie dans lequel les nuisances engendrées par l'activité agricole sont de moins en moins bien supportées. Le bon déroulement de l'agriculture s'en trouve également contrarié d'autant par la segmentation de l'espace de production et la multiplication des contraintes de circulation et de pratiques. Pourtant, selon Lebahy et Le Délézir (2006), le maintien de l'agriculture littorale constitue le meilleur rempart contre une urbanisation excessive et une mono-activité touristique, et pour préserver l'harmonie des paysages. « L'imbrication progressive de l'urbain dans le rural favorise les conflits d'usage entre résidents et agriculteurs, rend difficile la poursuite de l'activité. [...] Pour ceux qui le souhaitent, la spéculation renforcée sur les terres et les bâtiments d'exploitation recherchés pour leur intérêt patrimonial et architectural, rend le choix difficile. Le foncier agricole, entraîné par la vague générale de spéculation, devient lui-même inaccessible ». Mais les agriculteurs eux-mêmes sont partiellement responsables de cette situation. En effet la poursuite de l'activité et la transmission du patrimoine foncier deviennent de moins en moins rentables.

La montée en puissance des sources de conflit entre activité agricole et néo-ruraux nécessite donc de s'interroger sur la façon de concilier les différents usages de la campagne. Or Canevet (2004) rappelle qu'une déprise agricole trop importante se traduirait par une fermeture des paysages et leurs conséquences en termes d'accessibilité, de visibilité et de biodiversité, mais aussi par des pertes d'emplois. Notons que les propositions stratégiques de reconversion du modèle agricole breton ne manquent pas (Layadi, 2004). Parmi ces propositions, commencent à émerger celles de maintenir un territoire de production préservé, soucieux de la qualité de l'environnement, à l'inverse du modèle productiviste dans lequel l'agriculture bretonne s'est engouffrée depuis la Seconde Guerre Mondiale.

2.2.3. Urbanisation, tensions foncières et mixité sociale

Dans le même temps, l'attractivité du littoral breton tient aux valeurs de nature et d'authenticité qu'il véhicule, à travers notamment certains sites emblématiques (Cap de la Chèvre, pointe du Raz, Golfe du Morbihan, ria d'Étel, côte de Granit Rose...). Pétris de cette image, les nouveaux arrivants et jeunes ménages recherchent de préférence une maison isolée, avec un jardin, au bord de la mer quand c'est possible. Dans les années 1970, ce type de demande a contribué à renforcer la dispersion originelle de l'habitat, organisé en hameaux. L'attrait pour la maison individuelle demeure, même si les politiques foncières tentent de limiter cette consommation anarchique de l'espace, en attribuant des vocations par zonage.

En conséquence, sur le littoral breton, l'extension urbaine ne s'est pas effectuée autour des hameaux existants, mais plutôt le long du linéaire côtier ou des routes littorales. Comme le rappelle Le Du-Blayo (2007), « ce type d'habitat, fortement consommateur d'espace et alimenté par une demande qui ne faiblit pas, produit rapidement un continuum d'urbanisation, rarement dense mais aussi – et c'est lié – rarement absent ».

On peut distinguer parmi les communes littorales soumises à une importante pression foncière deux groupes distincts (DRE Bretagne, 2004) :

- des communes qui connaissent une croissance de l'habitat uniquement en lien avec leur positionnement littoral, les nouvelles constructions étant essentiellement constituées de résidences secondaires et de logements pour retraités (Perros-Guirec sur la côte nord, St-Cast-Le-Guildo à l'ouest de St-Malo) ;
- des territoires où ce positionnement littoral interfère avec la proximité d'un pôle urbain important pourvu d'une dynamique économique propre, pour lesquels le développement est à la fois périurbain et littoral, avec un risque accru de tensions foncières (côte sud autour de Quimper, Lorient, Auray, Vannes).

Les conséquences directes en termes de pression foncière pour les communes littorales peuvent être comparées aux communes insulaires (Buhot, 2006). La forte convoitise exercée sur un espace disponible à la construction relativement limité entraîne mécaniquement une hausse des prix, la demande étant supérieure à l'offre. Dès lors les ménages locaux éprouvent de plus en plus de difficultés à se loger sur place, les terrains étant monopolisés par des ménages plus âgés (et plus aisés) ou des ménages étrangers à la région mais disposant de revenus supérieurs (DRE Bretagne, 2004). Dans les communes où l'on constate une forte ségrégation spatiale, on voit peu à peu apparaître une perte progressive de la mixité sociale ainsi qu'une ségrégation générationnelle, avec tous les impacts économiques associés (Sonnac, 2009).

Pour Lebahy et Le Délézir (2006), le contrôle de l'urbanisation littorale est la condition du maintien de l'identité de la Bretagne. L'étalement urbain, caractéristique du bâti sur le littoral est également synonyme d'une perte de sens collectif et d'une multiplication probable des conflits d'usage, d'un impact environnemental fort et de tensions sociales accrues (DATAR, 2004). Sur la période récente 2005-2007, on constate cependant en Bretagne un taux de construction plus élevé de logements collectifs que de logements individuels, et une baisse récente dans la production de ces derniers (Luong et Rul, 2008). Est-ce la matérialisation d'une prise en compte de ces enjeux dans l'aménagement du littoral ?

2.3. La gestion de la zone côtière en Bretagne

2.3.1. De nombreux outils de gestion du littoral breton

En Bretagne, la prise de conscience des problèmes environnementaux et des conflits d'usages potentiels intervenant sur le littoral est ancienne. De nombreux outils d'aménagement et de gestion intégrée se sont succédés sur le littoral breton avant l'institution de la GIZC (Euzenes et Le Foll, 2004 ; Réau M., 2006) (figure 39). Peu d'entre eux ont cependant été réellement appliqués faute de supports réglementaires suffisants.

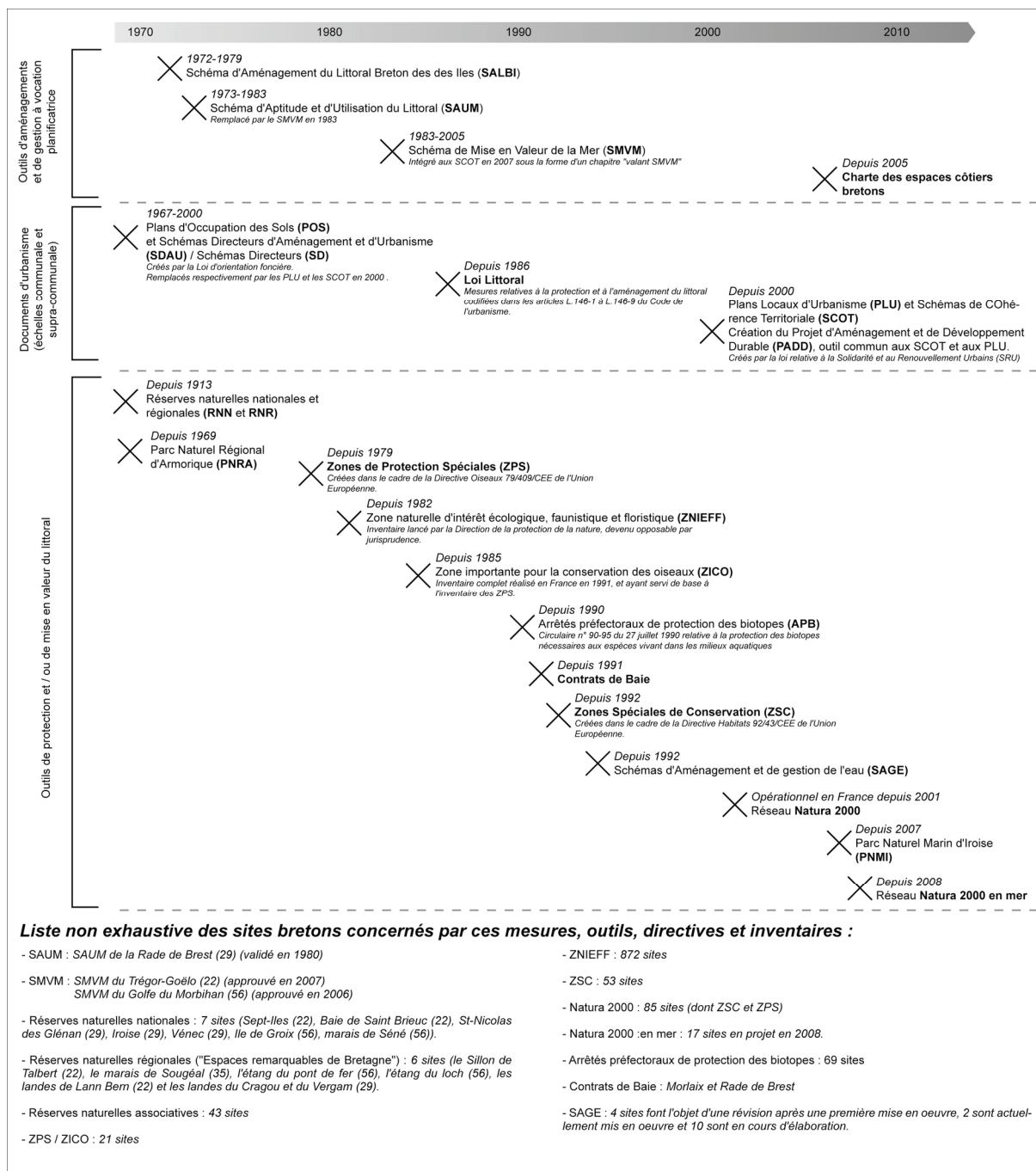


Figure 39 : Quelques mesures de protection et de gestion en vigueur sur le littoral breton depuis 1967.

Les premières mesures de gestion du littoral breton concrétisées par le Schéma d'Aménagement du Littoral Breton et des Iles (SALBI) dans les années 1970 reposaient entre autre sur la concertation avec la société civile et sur la prise en compte de l'ensemble des problématiques spécifiques à la zone côtière, concepts chers à la GIZC française aujourd'hui. La GIZC telle qu'elle est définie par l'Europe et la France est à présent centrale dans la gestion des zones côtières bretonnes, comme en témoigne l'appel à projet GIZC lancé conjointement par la Région Bretagne et la Préfecture de la région Bretagne en

décembre 2010 dans le cadre du Grand projet « Développer une politique maritime intégrée » du Contrat de projets Etat / Région 2007 – 2013⁶⁸.

Dans le rapport du Conseil Economique et Social de Bretagne consacré à la gestion du littoral breton, Euzenes et Le Foll (2004) insistent sur la nécessité d'une gestion partagée et intégrée, et préconisent une application des réglementations existantes et une meilleure coordination des dispositifs déjà en place. Quelques outils d'urbanisme sont déjà liés entre eux par des règles de compatibilité, comme les PLU et les SCOT, ces derniers devant eux-mêmes respecter les règles de compatibilité à l'égard des SMVM. Dans la réalité, cette compatibilité est encore rarement respectée pour des raisons de chronologie dans leur mise en place.

La multitude d'outils existants pose également le problème de la cohérence spatiale, avec notamment des chevauchements de dispositifs sur certaines portions du littoral breton. C'est par exemple le cas du Parc Naturel Régional d'Armorique (PNRA) et du Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI) dans le Finistère. Ces chevauchements dans l'espace sont la résultante d'une approche gestionnaire sectorielle plus qu'intégrée, chacun de ces outils pouvant viser des finalités différentes et parfois mêmes contradictoires.

L'instauration de la GIZC en Bretagne est donc héritière de cette longue expérience de gestion du littoral, dont elle a partiellement réutilisé les outils et les données. En effet, ces instruments d'aménagement reposant généralement sur des diagnostics et des inventaires territoriaux, ils ont contribué à l'acquisition de connaissances sur le littoral à l'exemple du SALBI qui présente un état du littoral breton dans les années 1970 (Guineberteau *et al.*, 2006). Sur ces bases, le projet de Charte des espaces côtiers bretons constitue la traduction régionale de la GIZC à l'échelle de la Région Bretagne.

2.3.2. Une action à l'échelle de la région : la Charte des espaces côtiers bretons.

Cette Charte a été élaborée dans le cadre de l'appel à projet national lancé par la DIACT en 2005 sur le thème de la GIZC en France. Initiative concernant tous les espaces côtiers bretons, elle a été proposée pour adoption aux collectivités territoriales, aux groupements de collectivités territoriales et aux Pays concernés. Si l'élaboration d'une charte sur le littoral breton était déjà en projet en 2005, le fait d'être retenu parmi les 24 lauréats de cette initiative nationale fut l'occasion pour la Région Bretagne de lancer la concertation avec les acteurs du littoral breton sous la forme de quatre forums participatifs et d'une enquête d'opinion. La Charte des espaces côtiers bretons synthétise les informations recueillies selon une triple vocation (Région Bretagne, 2007) :

- proposer une vision commune pour l'avenir de la zone côtière bretonne, en réponse à un besoin de cohérence des acteurs de terrain, souvent déconcertés par la multitude d'outils et d'initiatives locales en matière de gestion du littoral ;
- développer une stratégie pour mettre en œuvre cette vision commune de la zone côtière ;

68. <http://www.bretagne.pref.gouv.fr/Annonces-avis/Appel-a-projets/Gestion-integree-des-zones-cotieres-GIZC>

- faire prendre conscience à tous de la dimension et des capacités maritimes de la Bretagne.

La Charte pose en outre les bases d'une nouvelle gouvernance afin de mettre en œuvre une gestion durable et concertée de la zone côtière bretonne, et propose la création de plusieurs dispositifs pour y parvenir : des instances de concertation, un dispositif d'observation, de suivi et d'analyse prospective de la zone côtière, des dispositifs de mise en réseau et d'accompagnement des acteurs de la zone côtière bretonne.

Les limites de cet ambitieux projet sont inhérentes à son statut de charte. Dépourvu de toute contrainte réglementaire, il n'engage que ceux qui la signent. Depuis son adoption par le Conseil régional en décembre 2007, le nombre de signataires ne cesse toutefois de progresser, parmi lesquels se trouvent des associations comme Nautisme en Bretagne, l'association des Ports de Plaisance de Bretagne, le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de Bretagne, mais également des organismes de gestion comme le Parc Naturel Régional d'Armorique (PNRA) et le Parc Marin d'Iroise, des collectivités territoriales comme le Conseil Général du Morbihan (premier signataire de la charte en janvier 2008), le Syndicat Mixte de la Ria d'Étel.

Parmi les dispositifs proposés par la Charte on peut également souligner le projet de création d'un observatoire chargé de rassembler les données existantes sur la zone côtière, de suivre et d'évaluer l'état du littoral breton ainsi que les effets des processus de gestion engagés, de proposer une analyse prospective dans une perspective d'aide à la décision. Une récente initiative en ce sens vient d'être lancée en 2010 via un appel à projet de la région Bretagne.

CHAPITRE 2 – PRESENTATION DU PAYS DE BREST

Le Pays de Brest est une association de communautés de communes situées au nord du département du Finistère. Le territoire formé par ces EPCI⁶⁹ regroupe 43,5 % de la population finistérienne sur un quart de la superficie du département. Le Pays de Brest est organisé autour du pôle urbain brestois qui centralise l'essentiel des activités et des emplois du Pays. La qualité et la diversité de ses paysages associés aux 350 km de façade maritime confèrent à la zone côtière du Pays de Brest un intérêt patrimonial justifiant diverses décisions de gestion.

1. Un « pays » en périphérie de la Bretagne

1.1. Naissance d'un « pays »

Il y a 25 ans, le poids écrasant de l'agglomération brestoise et de sa périphérie suscitait de la méfiance de la part des communes voisines. La possibilité donnée aux communes de se regrouper sous la forme d'EPCI au début des années 1990 a ouvert la voie de la coopération intercommunale. Ce territoire est donc l'aboutissement d'une volonté assez récente de coopération entre EPCI. En 1995, les Présidents des communautés de communes de la région de Plabennec, du Pays d'Iroise, de Landerneau - Daoulas, de Lesneven - Côte des Légendes et de la Communauté Urbaine de Brest signent un protocole de coopération. Le but de la démarche est de renforcer l'intercommunalité à l'échelle de l'arrondissement. Cette volonté de regroupement s'inscrit dans le cadre de la Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement du Territoire (LOADT), dite également Loi Pasqua, de février 1995 (encadré 2). Elle posait les bases de la création de nouvelles entités territoriales, les « pays », qui en renforçant la coopération intercommunale, avaient pour ambition de faire émerger des pôles de développement d'envergure européenne autres que la région parisienne. Cette intercommunalité avait aussi pour but de mener des actions solidaires, plus cohérentes et de développer des politiques et des stratégies complémentaires.

69 Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de "projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité". Ils sont soumis à des règles homogènes et comparables à celles de collectivités locales. Les communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes, syndicats d'agglomération nouvelle, syndicats de communes et les syndicats mixtes sont des EPCI (source : INSEE).

Extraits de la loi n°95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire

Article 22

I – Lorsqu'un territoire présente une cohésion géographique, culturelle, économique ou sociale, à l'échelle d'un bassin de vie ou d'emploi, les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre qui le compose ont vocation à se regrouper en pays.

II – Le pays exprime la communauté d'intérêts économiques, culturels et sociaux de ses membres. Il constitue le cadre de l'élaboration d'un projet commun de développement durable destiné à développer les atouts du territoire considéré et à renforcer les solidarités réciproques entre la ville et l'espace rural. Ce projet prend la forme d'une charte de développement du pays.

Encadré 2 : La loi Pasqua de 1995.

De 1995 à 1999, la nouvelle structure intercommunale engage des actions communes relatives au traitement des déchets, à l'alimentation du territoire en gaz, au tourisme, à l'économie, à la voirie, etc. Le cadre spatial de la coopération varie en même temps qu'évolue le paysage intercommunal. En juin 1997, les présidents des communautés de communes décident de se réunir en Association des Présidents des communautés du Pays de Brest, et y intègrent la communauté de communes de la Presqu'île de Crozon.

En juin 1999, la loi d'Orientation de l'Aménagement et du Développement Durable du Territoire, dite loi Voynet, modifie la loi Pasqua de 1995. Les six communautés de communes du Pays de Brest créent en janvier 2000 l'association loi 1901 des Communautés du Pays de Brest. Afin de préciser ses objectifs et ambitions, elle se dote d'une charte de développement, outil de négociation du contrat de Pays dans le cadre du volet territorial du contrat de plan Etat - Région 2000-2006. Cette charte décrit les grandes orientations du Pays pour les dix prochaines années. Enfin, la communauté de communes de l'Aulne maritime rejoint l'association des communautés de Communes du Pays de Brest fin 2002. C'est à cette date que son périmètre reconnu par arrêté préfectoral.

Le Pays de Brest s'étend en superficie sur 25,1 % du département du Finistère, et regroupe 43,5 % de sa population. Sept EPCI rassemblant 89 communes y sont représentés (figures 40 et 41) :

- La Communauté Urbaine⁷⁰ de Brest Métropole Océane (BMO),
- la Communauté de Communes du Pays de Landerneau-Daoulas (CCPLD),
- la Communauté de Communes du Pays d'Iroise (CCPI),
- la Communauté de Communes de Plabennec et des Abers (CCPA),
- la Communauté de Communes du Pays de Lesneven – Côte des Légendes (CCPLCL),
- la Communauté de Communes de la Presqu'île de Crozon (CCPC),
- la Communauté de Communes de l'Aulne Maritime (CCAM).

70. La loi n° 99-586 du 12 juillet 1999 définit une communauté urbaine comme « un établissement public de coopération intercommunale regroupant plusieurs communes d'un seul tenant et sans enclave qui forment, à la date de sa création, un ensemble de plus de 500 000 habitants et qui s'associent au sein d'un espace de solidarité, pour élaborer et conduire ensemble un projet commun de développement urbain et d'aménagement de leur territoire » (Code général des collectivités territoriales)

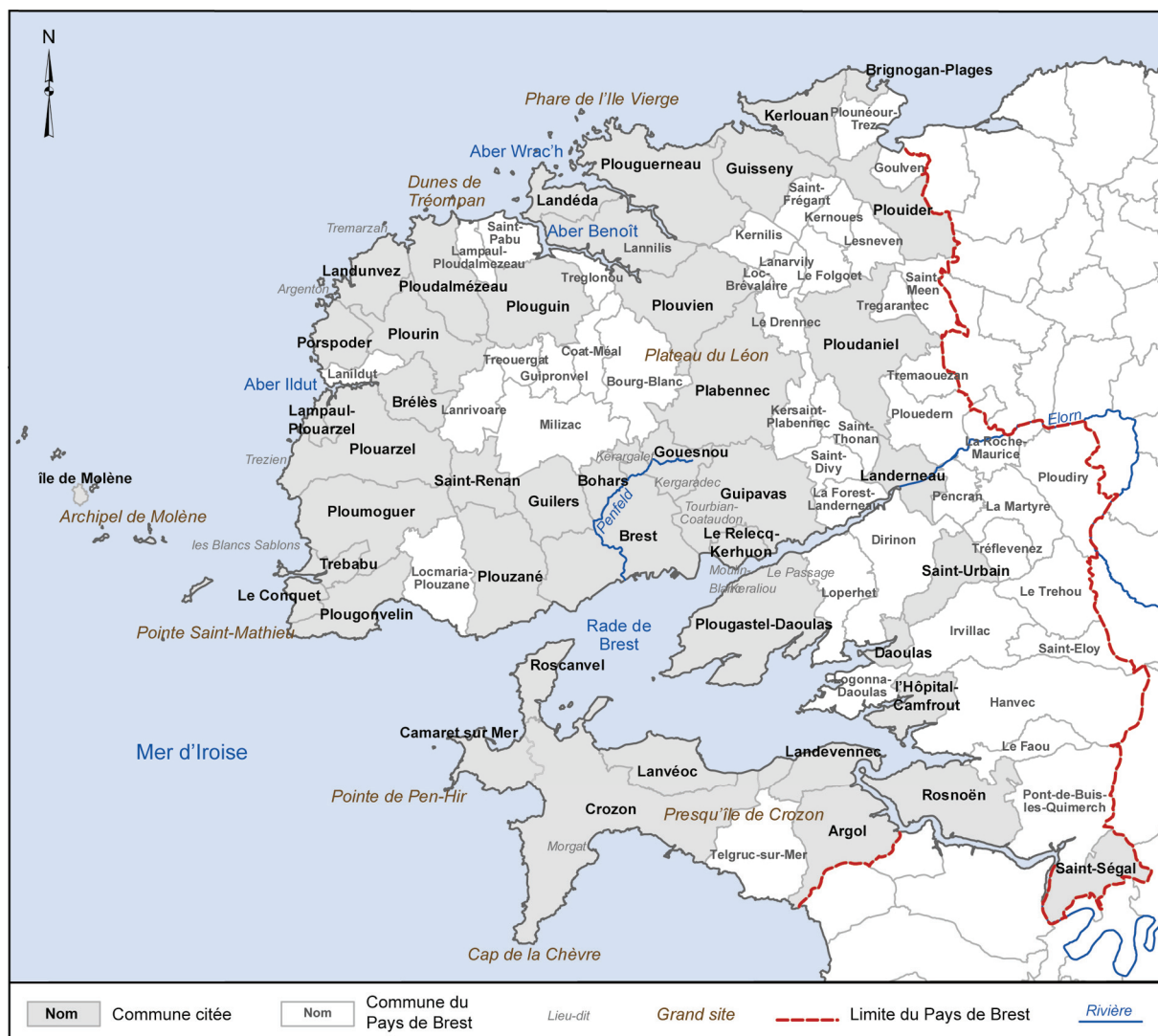


Figure 40 : Le Pays de Brest.

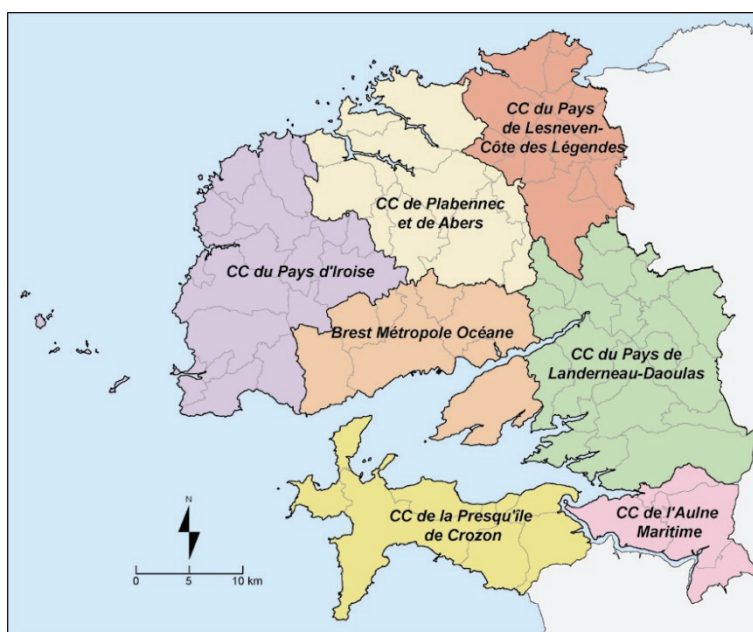


Figure 41 : Les communautés de communes et d'agglomération du Pays de Brest.

Situé à l'extrême nord-ouest du département du Finistère, le territoire du Pays de Brest est excentré par rapport à la région Bretagne et *a fortiori* par rapport au territoire français et au centre décisionnel parisien. Cette position périphérique est à prendre en compte dans un contexte de marginalisation progressive de la Basse-Bretagne⁷¹. En effet selon Ollivro (2011) les résultats du dernier recensement de la population française mettent en évidence les prémices d'un décrochage de la Basse-Bretagne au plan démographique et économique par rapport à la Haute Bretagne, et plus spécifiquement par rapport au triangle dynamique formé par Rennes, Vannes et Nantes. Le nombre d'emplois stratégiques à Brest (6 887 en 2002) est très largement inférieur à celui de Nantes (25 508) ou Rennes (19 935) (Ollivro, 2011). Mais le Pays de Brest reste encore attractif, et son solde naturel positif tire la démographie finistérienne vers le haut. Brest reste le pôle urbain leader du département, en concentrant 44 % des emplois et 44 % de la population finistérienne (Adeupa-CG 29, 2010).

La loi n°2010-1563 du 16 décembre 2010 de réforme des collectivités territoriales a définitivement enterré les pays en tant que territoires de projets. L'article 51 de la loi de réforme prévoit en effet la suppression de la procédure de création des pays ; les pays créés antérieurement subsistant toutefois jusqu'à leur échéance. Avant cette date, le Pays de Brest a cependant su former un véritable territoire de projets, porteur notamment du projet de GIZC appliqué à l'échelle du Pays⁷². Le périmètre du SCOT est le même que celui du Pays, ce qui confère à ce groupement d'EPCI une réelle cohérence, et en fait un territoire adapté à nombres de problématiques dépassant les simples enjeux intercommunaux et *a fortiori* communaux.

1.2. Une juxtaposition d'espaces variés

Avec un linéaire côtier d'environ 350 kilomètres, le Pays de Brest a un caractère maritime indéniable. Sur les 89 communes du Pays, 55 ont une façade maritime (dont la ville de Brest), et aucun point du territoire ne se trouve à plus de 20 kilomètres de la mer. Le Pays de Brest est diversifié tant du point de vue de ses caractéristiques paysagères que de ses problématiques démographiques et économiques. Néanmoins sa dimension littorale et maritime est l'une des clés de l'identité et de l'unité de ce territoire.

Afin de présenter le Pays de Brest dans sa diversité, nous présentons les 7 EPCI en utilisant les données relatives à l'occupation des sols les plus récentes (CORINE Land Cover, 2006) (figure 42).

71. La Basse Bretagne désigne toute la partie occidentale de la Bretagne située à l'ouest de la frontière linguistique (qui va de Paimpol au nord à la Presqu'île de Rhuys au sud) où était traditionnellement parlée le breton jusqu'au milieu du XXème siècle. Elle s'oppose à la Haute Bretagne de langue galloise.

72. <http://www.pays-de-brest.fr/gizc.php>

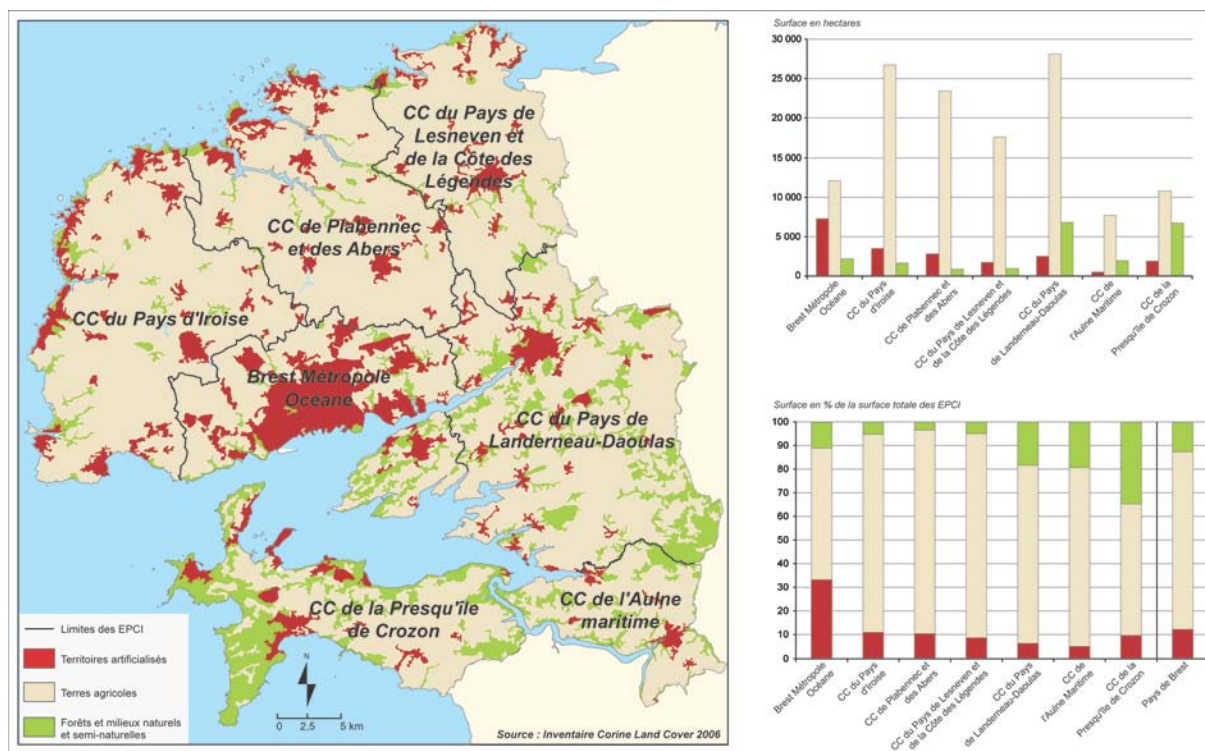


Figure 42 : Principaux types d'occupation des sols du Pays de Brest par EPCI selon CORINE Land Cover 2006.

Les caractéristiques des EPCI qui composent le Pays de Brest sont synthétisées dans le tableau 14. La diversité paysagère de ce territoire est illustrée par les photographies 1 à 10.

Nom de l'EPCI	Nbre de communes	Population en 2007	% pop. totale du Pays de Brest	Densité de pop. en 2007 (hab/km ²)	Type de littoral	Description paysagère
Brest Métropole Océane (BMO)	8	208 955	54,2	959	Littoral à falaise avec quelques plages de poches sableuses. Littoraux vaseux et plages de galets dans les communes du fond de la rade de Brest	La forte densité de population et la présence de la ville de Brest explique l'importante proportions des zones artificialisées dans cette EPCI. Le pavillonnaire individuel est en forte progression en périphérie de l'agglomération brestoise et des bourgs voisins (photographie 1). Les terres agricoles sont toutefois assez largement présentes, contrairement aux zones naturelles et semi-naturelles (sauf dans la commune de Plougastel-Daoulas).
Communauté de communes du Pays d'Iroise (CCPI)	20	43 729	11,4	136	Paysages littoraux variés avec une alternance de cordons dunaires protégés, de falaises moyennes et de côtes basses rocheuses ou sableuses aux nombreux îlots (photographies 2, 3 et 5). La mer pénètre également à l'intérieur des terres sous la forme d'abers (nom breton désignant des rias de petite taille) (photographie 4).	Les zones artificialisées se localisent sur le littoral sous la forme de rubans relativement compact plus ou moins parallèle au trait de côte, ou bien sous la forme d'habitat dispersé à la trame relâchée (photographie 5). A l'intérieur des terres, elles se concentrent sous la forme de gros bourgs en extension spatiale, mais les hameaux et habitations isolées sont nombreuses du fait d'une tradition d'habitat dispersé typique des espaces bocagers. Les zones naturelles et semi-naturelles sont peu présentes, malgré l'existence de secteurs protégés sur le littoral. Les paysages sont majoritairement agricoles, avec des champs de taille variable depuis le remembrement et la disparition d'une partie du bocage et des talus (photographie 6). La culture de céréales est importante (champs de maïs par exemple), ainsi que l'élevage bovin. Il existe une activité de maraîchage sur le littoral de la CCPLCL (début de la ceinture dorée bretonne). L'élevage intensif hors-sol s'est également développé, éparpillant dans le paysage des hangars massifs et bas.
Communauté de communes de Plabennec et des Abers (CCPA)	13	37 748	9,8	139		
Communauté de communes du Pays de Lesneven et de la Côte des Légendes (CCPLCL)	15	25 977	6,7	128		
Communauté de communes du Pays de Landemeau-Daoulas (CCPLD)	22	44 815	11,6	119	Littoral de fond de rade constitué de marais maritimes, de vasières et de petits estuaires.	Ce territoire opère en quelque sorte une transition entre la partie septentrionale du Pays de Brest située sur le plateau léonard à l'activité agricole prédominante et la partie méridionale spatialement moins homogène. Malgré la présence du pôle urbain de Landemeau, l'habitat est bien plus dispersé et bien moins dense que dans les EPCI du nord. Les fonds d'estuaires les plus importants sont occupés par des agglomérations de taille moyenne. La proportion de forêts et de milieux naturels et semi-naturels est assez importante. En contrepartie, la mise en valeur agricole est moins nettement visible dans le paysage.
Communauté de communes de l'Aulne Maritime (CCAM)	4	7 327	1,9	71	Littoral de grèves de galets et de vasières spécifique au fond de la rade et à l'embouchure de l'Aulne (photographies 7 et 8).	La très faible densité de population se traduit par une présence discrète des zones artificialisées. Les forêts et milieux naturels et semi-naturels sont très présents (photographies 7 et 8), sans toutefois masquer une activité agricole bien réelle.
Communauté de communes de la Presqu'île de Crozon (CCPC)	7	16 667	4,3	87	Littoraux à falaise (Morgat, Cap de la Chèvre, Pointe de Pen-Hir, Pointe de Dinan, etc) contribuant à la renommée de la Presqu'île (photographie 9).	Les agglomérations sont situées le plus souvent sur le littoral. Les zones militaires occupent de vastes superficies. La Presqu'île de Crozon est souvent citée pour son caractère « sauvage » et préservé, du fait de la présence de nombreuses landes littorales et de forêts (photographies 8, 9 et 10). L'activité agricole y est de plus en plus marginale, et de nombreuses parcelles s'enfrichent faute d'être entretenues (photographie 10).

Tableau 14 : Caractéristiques des EPCI du Pays de Brest



Photographie 1 : Extension du périurbain au Relecq-Kerhuon et à Plougastel-Daoulas (© Frédéric Le Mouillour, <http://www.survoldefrance.fr>).



Photographie 2 : Littoral de la commune de Plouarzel.



Photographie 3 : Côte basse sableuse, commune de Kerlouan.



Photographie 4 : L'Aber Ildut.



Photographie 5 : Urbanisation du littoral, commune de Brignogan-Plages (© Philippe Autret, <http://www.survoldefrance.fr>).



Photographie 6 : Paysage agricole à Ploudalmézeau.



Photographie 7: L'embouchure de l'Aulne à hauteur de Rosnoën (© Frédéric Le Mouillour, <http://www.survoldefrance.fr>).



Photographie 8 : Forêt de Landevennec.



Photographie 9 : Le Cap de la Chèvre sur la Presqu'île de Crozon (source : www.bretagne.com).



Photographie 10 : Landes et friches à Roscanvel.

En résumé, trois ensembles se distinguent dans le Pays de Brest :

- BMO, où la part des territoires artificialisés est très importante, les terres agricoles n'occupent qu'à peine la moitié de ce territoire. La périurbanisation est importante dans les communes autour de Brest.
- Le plateau du Léon au nord où dominent les terres agricoles. Les littoraux y sont par endroit densément peuplés. Même si certaines portions sont protégées, la proportion de zones naturelles et semi-naturelles est plutôt faible ; ces milieux étant cantonnés au fond des vallées les moins aptes à l'agriculture et en voie d'enfrichement.
- Le sud de l'Elorn où la proportion des terres agricoles est moins forte. La proportion de zones naturelles et semi-naturelles est ici plus forte que dans le reste du Pays, grâce à la présence d'espaces boisés et, à l'extrémité de la Presqu'île de Crozon, de vastes surfaces de landes littorales.

2. Un territoire polarisé par la ville de Brest

En 2007, la répartition de la population dans le territoire du Pays de Brest révèle une forte concentration de la population dans le pôle urbain brestois et dans les communes limitrophes (figure 43). De fait BMO concentre à elle seule plus de la moitié de la population totale du Pays de Brest (54,2 %). La densité de population moyenne des communes littorales y est légèrement supérieure à celle de l'arrière-pays (157 habitants / km² contre 133 habitants / km² en 2007, la ville de Brest étant exclue du calcul). L'influence du pôle urbain brestois semble bien plus déterminante pour la répartition de la population.

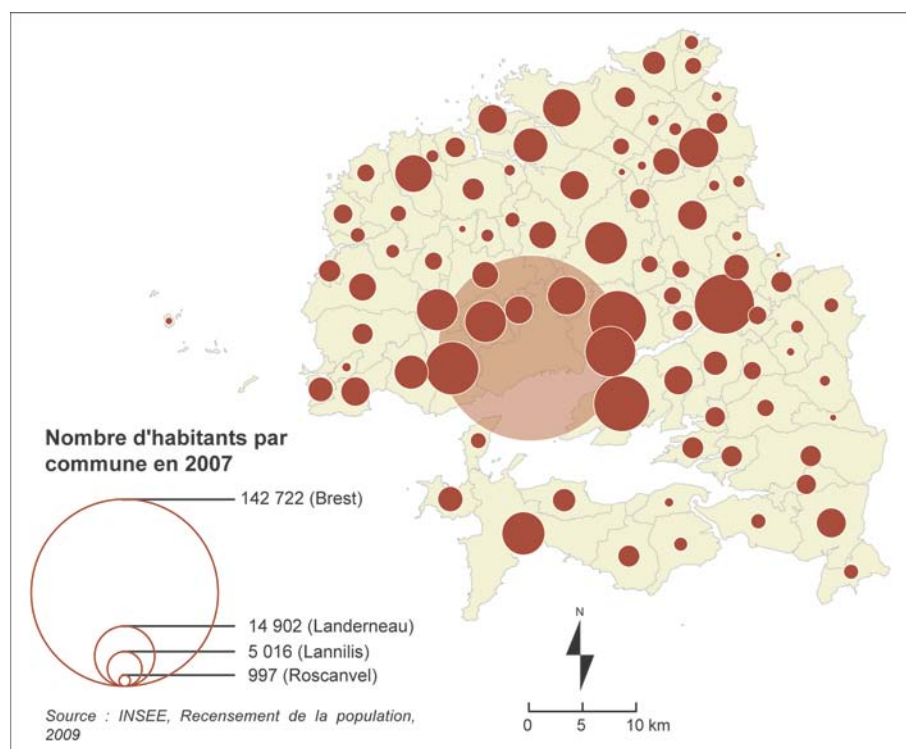


Figure 43 : Répartition de la population du Pays de Brest en 2007.

Entre 1999 et 2006 le Pays de Brest a gagné 10 457 habitants (variation annuelle de la population : + 0,34 %). Cette augmentation est à 96 % le fait du solde naturel (+ 10 070 habitants du fait du solde naturel, + 387 habitants du fait du solde migratoire entre 1999 et 2007). Cette situation est l'inverse de celle du Finistère, où le solde migratoire excédentaire explique 90 % de la croissance démographique (Adeupa-CG 29, 2010). C'est pourtant le Pays de Brest qui capte l'essentiel des nouveaux migrants finistériens (45 % des migrants se sont installés dans le Pays de Brest entre 1999 et 2006, soit 34 400 personnes). Mais le territoire perd aussi un nombre important d'adultes actifs de la tranche d'âge 30-39 ans (Adeupa, 2009). La majorité des nouveaux arrivants sont de jeunes actifs. Seuls 9 % des migrants arrivés entre 1999 et 2006 ont plus de 55 ans (Adeupa-CG 29, 2010). Les projections démographiques pour le Pays de Brest à moyen terme indiquent que le territoire pourrait continuer à gagner des habitants, mais uniquement grâce au solde naturel positif à imputer à la jeunesse globale de sa population (Ramonet, 2009), ce qui constitue un facteur de fragilité de la croissance démographique à long terme.

3. La gestion de la zone côtière dans le Pays de Brest

3.1. Le SALBI et le SAUM

En 1976, dans les unités d'aménagement qui correspondent à l'actuel Pays de Brest, le SALBI a mis en évidence des enjeux d'organisation spatiale proches des enjeux actuels. Constatant la progression de l'urbanisation sous forme de lotissements autour de la ville de Brest, un desserrement urbain le long de la vallée de l'Elorn sous forme de « coupures vertes boisées » est ainsi préconisé. La problématique de l'urbanisation littorale et de l'émiettement des terres agricoles est également soulignée, avec la mise en évidence d'une régression de l'agriculture sur le littoral et du phénomène de rétention des terres agricoles induits par une urbanisation anarchique. Ainsi le projet de développement établi par le SALBI pour le secteur des Abers prévoyait dans le volet « Protéger » des « coupures strictes dans l'urbanisation linéaire entre Trémazan et Argenton, et à l'embouchure de l'aber Ildut » (Atelier Régional de Bretagne, 1975) (figure 44). La dégradation des milieux naturels liée au développement du camping sur les dunes est également soulignée.

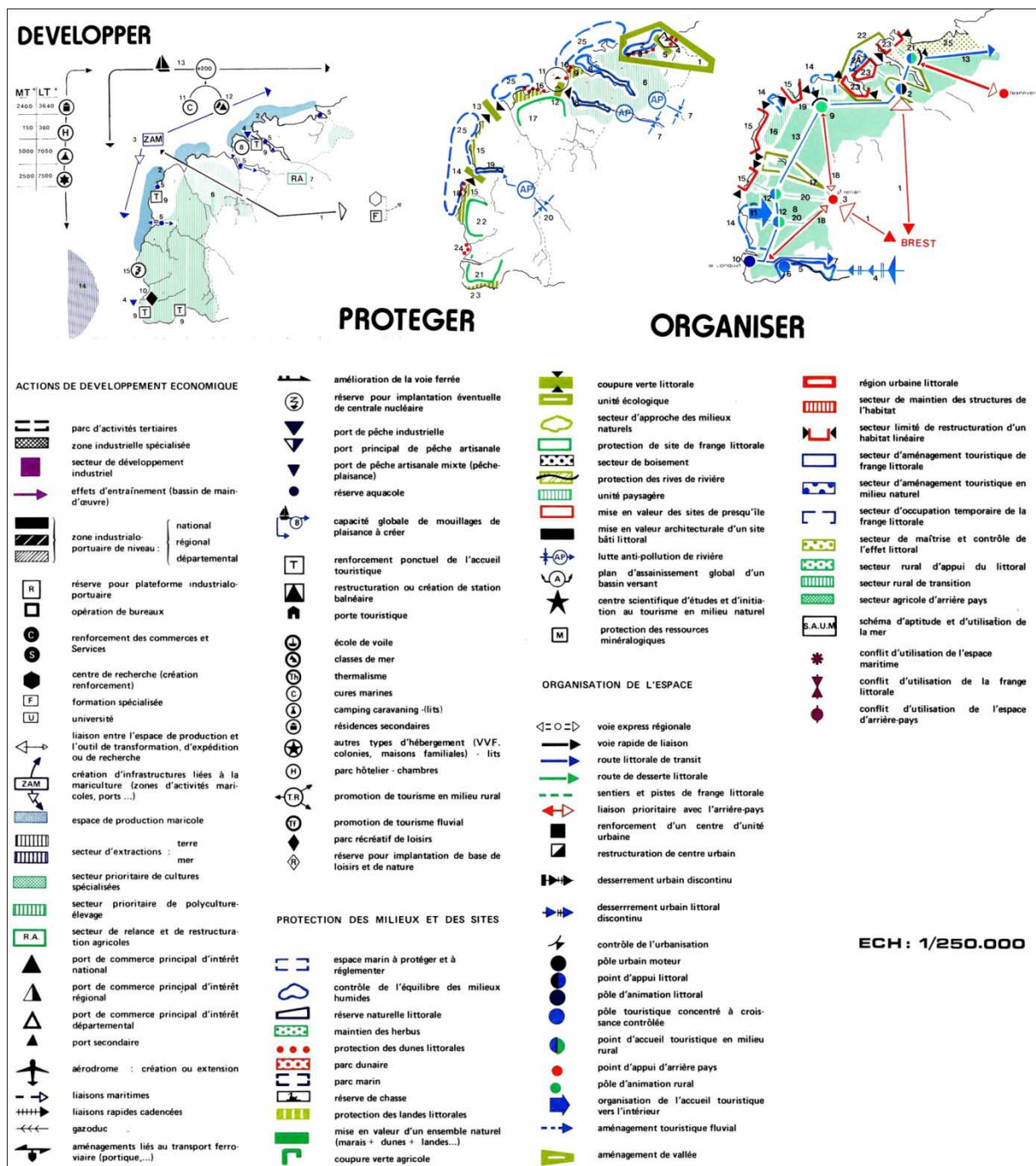


Figure 44 : Extrait du SALBI, unité d'aménagement des Abers, 1975.

En 1980, le SAUM de la rade de Brest est approuvé. Dans son volet consacré à la frange littorale, il aborde trois éléments considérés comme problématiques : la disparition des zones humides littorales, la sauvegarde et la mise en valeur des espaces naturels littoraux, et le bâti littoral et son architecture dans une optique de préservation patrimoniale. Les mesures de gestion préconisées par le SAUM sont encore d'actualité : mise en œuvre intercommunale des Plans d'Occupation des Sols, application de la Directive sur la protection et l'aménagement du littoral, acquisitions foncières pour la protection des milieux naturels (Baclet et Le Roy, 1980). En revanche, l'artificialisation des abords de la rade ne fait pas l'objet de proposition de gestion.

Ces instruments (SALBI et SAUM), sans réel pouvoir réglementaire, n'ont guère conduit à des actions concrètes pour la gestion de la zone côtière de ce territoire.

3.2. Prise en compte des problématiques littorales dans le SCOT du Pays de Brest

Actuellement le Pays de Brest est engagé dans plusieurs démarches de gestion intégrée du littoral. Un SCOT (encadré 3) est en cours d'élaboration à l'échelle du territoire⁷³. Il n'est pas à proprement parler un outil de GIZC, mais la dimension éminemment maritime du Pays de Brest justifie qu'y soit portée une certaine attention aux problématiques spécifiques à la zone côtière.

Le SCOT

Le Schéma de Cohérence Territoriale est un document d'urbanisme créé en 2000 par la loi « Solidarité et Renouvellement Urbain » (SRU). C'est un document d'urbanisme qui concerne des groupements de communes identifiés comme espaces de projets. L'objectif du SCOT est de formuler un projet d'aménagement pour un territoire à moyen terme (10 ou 15 ans). Le SCOT a pour objectifs d'identifier des choix stratégiques pour le territoire, de les traduire spatialement et d'orienter les politiques structurantes du territoire. Contrairement au Plan Local d'Urbanisme (PLU), le SCOT ne détermine pas la destination générale des sols.

Elaboré dans une perspective de développement durable du territoire, le projet de développement proposé dans le cadre d'un SCOT doit être compatible avec un certain nombre d'éléments : l'équilibre entre espaces urbains, industriels, agricoles, touristiques et naturels grâce à une utilisation économe des sols, l'organisation urbaine propre au territoire concerné ainsi que la diversité des fonctions urbaines et la mixité sociale dans l'habitat, la satisfaction des besoins présents et futurs des résidents en matière d'habitat, d'emploi, d'accès aux équipements et aux moyens de transports, l'établissement d'un lien entre l'urbanisation future et le réseau de déplacements collectifs pour maîtriser la circulation automobile, la préservation de la qualité des écosystèmes, des milieux et des paysages naturels ou urbains.

Le SCOT comprend plusieurs documents :

- un rapport de présentation qui se compose d'un diagnostic territorial et d'un état initial de l'environnement,
- le Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD), qui contient les préconisations du SCOT pour l'aménagement de son territoire dans le respect des principes du développement durable,
- le Document d'Orientations Générales (DOG) qui correspond à la mise en œuvre du PADD.

Encadré 3 : Le Schéma de Cohérence Territorial.

Cinq objectifs prioritaires pour le littoral sont inscrits dans ce SCOT (figure 45a), une attention toute particulière étant portée à la question de l'urbanisation et de sa consommation des terres. Le dernier chapitre du Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) et le Document d'Orientation Général (DOG) du SCOT sont quant à eux consacrés au « développement équilibré du littoral » (figure 45b).

73. L'ensemble des documents relatifs à la mise en place du SCOT du Pays de Brest sont disponibles à l'adresse web suivante : <http://www.pays-de-brest.fr>.

Objectifs du PADD du SCoT du Pays de Brest pour la dimension maritime du territoire

Assurer la croissance et la complémentarité des activités littorales, maritimes et portuaires.

- 1
 - 1.1 Mettre en place les conditions d'un maintien de l'agriculture littorale.
 - 1.2 Assurer l'évolution des activités maritimes et côtières.
 - 1.3 Prévoir un renforcement du transport maritime.
 - 1.4 Développer des activités littorales novatrices.

Enrichir le patrimoine commun d'un littoral exceptionnel et fragile.

- 2
 - 2.1 Préserver les espaces littoraux.
 - 2.2 Prévenir les milieux naturels contre la dégradation.

Définir des principes d'aménagement cohérents avec la loi Littoral.

- 3
 - 3.1 Evaluer les capacités d'accueil dans les communes littorales.
 - 3.2 Revoir profondément le mode d'urbanisation.
 - 3.3 Définir les villages et les hameaux.
 - 3.4 Assurer la respiration du linéaire littoral par des coupures d'urbanisation.
 - 3.5 Assurer la protection des espaces remarquables.

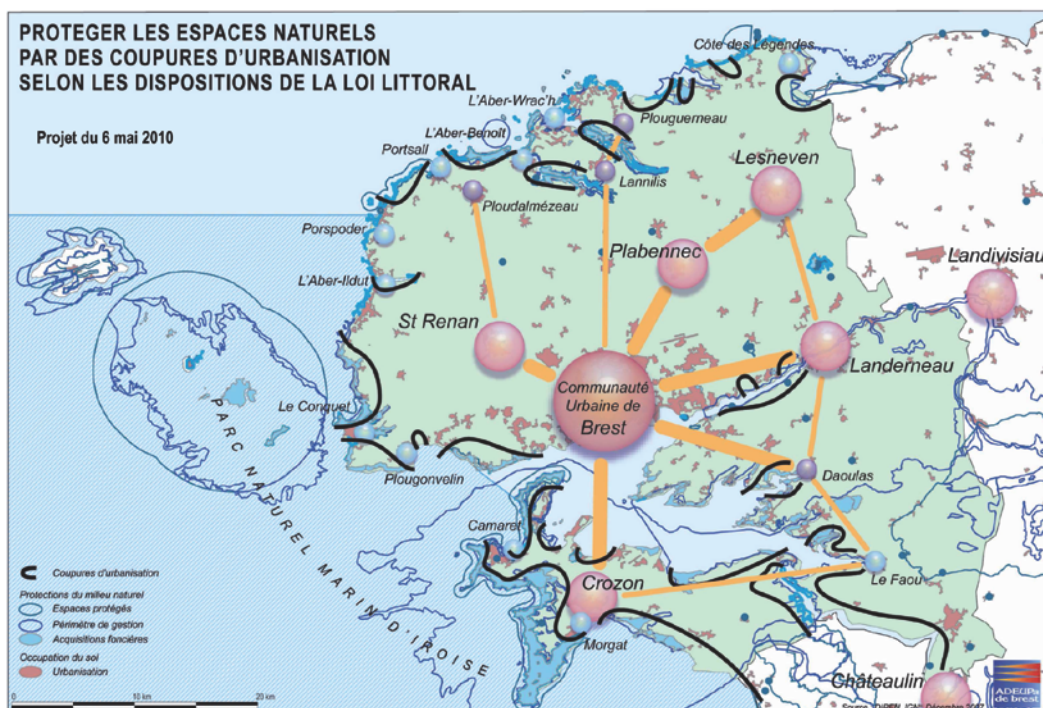
Définir les axes d'une politique touristique durable.

- 4
 - 4.1 Développer l'activité touristique.
 - 4.2 Veiller à la préservation du capital environnemental et architectural.
 - 4.3 Associer habitants et touristes.
 - 4.4 Moderniser l'offre touristique.

Organiser la croissance des activités de plaisance et de nautisme.

- 5
 - 5.1 Explorer toutes les possibilités pour accroître la capacité d'accueil des usagers.
 - 5.2 Répondre à l'enjeu environnemental.

a) - Les objectifs du PADD pour la dimension maritime du Pays de Brest



b) - Un exemple de projet d'organisation spatiale autour de la problématique des coupures d'urbanisation

Figure 45 : La vocation maritime du PADD du SCOT du Pays de Brest.

En outre le PADD suggère de mettre en place « une politique foncière active et anticipatrice » au niveau des intercommunalités et du Pays afin d'organiser et de maîtriser la croissance des zones artificialisées sur le territoire. Il s'agit de s'appuyer sur les structures urbaines existantes tout en cherchant à renforcer les « centralités » pour maîtriser l'étalement urbain et le mitage du territoire. Une réflexion autour de nouvelles formes urbaines offrant un accès à des services de proximité et aux transports en commun est amorcée. La promotion de nouvelles formes urbaines plus économes en espace est également préconisée, afin de limiter le mitage du paysage et de permettre le maintien de l'activité agricole (Adeupa, 2008). Précisons cependant que les observations du SCOT du Pays de Brest relatives à la consommation de l'espace par l'urbanisation et au mitage de l'espace agricole ne s'appuient sur aucune information quantifiée de ces phénomènes.

3.3. Mise en œuvre de la GIZC dans le Pays de Brest

Le Pays de Brest fait partie des lauréats de l'initiative nationale concernant la GIZC, lancée par la DIACT en 2005. Son projet qui s'inscrivait dans les objectifs de la Charte des espaces côtiers bretons s'appuyait sur des outils déjà en place ou en cours de mise en œuvre, comme le Contrat de Baie, le réseau Natura 2000, le Parc Naturel Marin de la Mer d'Iroise, la charte d'environnement de la Communauté de Communes du Pays d'Iroise, le SCOT. L'expérimentation a débuté en 2006, date à laquelle l'Adeupa a été mandatée pour la mener, et s'est achevée 18 mois plus tard. Au vu du délai imposé, de l'existence de freins politiques à l'apparition d'une nouvelle structure de gestion sur le territoire, et l'absence de moyens financiers adaptés, le projet « GIZC du Pays de Brest » s'est limité à une expérimentation du processus de concertation sur deux chantiers : le contrat Restauration Entretien de l'Aber Ildut et l'organisation de la plaisance dans le Pays de Brest.

Le projet de GIZC pour le Pays de Brest a probablement souffert de l'élaboration parallèle du SCOT. Il n'a pas conduit à la coordination des outils de gestion présents sur le territoire car elle est probablement tombée dans le piège de « l'illusion du tour de table » (Billé, 2006), qui repose sur la croyance qu'en réunissant l'ensemble des acteurs concernés, on règle forcément les problèmes environnementaux en question.

Les outils de gestion de la zone côtière existent sur le territoire du Pays de Brest depuis environ cinquante ans. Des diagnostics relatifs aux problématiques spécifiques de la zone côtière ont été effectués très tôt, grâce au SALBI et au SAUM. Des données ont également été collectées. Mais la cohérence entre ces recueils d'informations est faible. Ainsi le SAUM n'a pas intégré dans son diagnostic les données de l'IPLI, alors que ce dernier avait été publié trois ans seulement avant son approbation. De même, on peut souligner l'absence de données chiffrées relatives à l'occupation des sols et son évolution récente dans le SCOT du Pays de Brest, malgré la disponibilité des données CORINE Land Cover.

CHAPITRE 3 – A L'ECHELLE DU PAYS DE BREST : DONNEES ET METHODES

Les processus de GIZC reposent sur des indicateurs produits à l'échelle locale. Or sur la zone côtière française, l'information disponible relative à la partie terrestre est peu adaptée à des études locales. Se pose alors la question de produire un indicateur adapté à l'étude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en utilisant les données actuellement disponibles.

Naturellement constituée par une mosaïque fine d'entités paysagères et écologiques, nettement caractérisée par la dispersion de son habitat, le littoral breton a été très largement affecté par des changements répétés à l'échelle de la parcelle, sans réelle coordination ou ordonnance d'ensemble (Lebahy et Le Délézir, 2006 ; Lescoat, 1996 ; Le Du-Blayo L., 2007). De même sur le littoral du Pays de Brest, les changements survenus ces dernières décennies affectent majoritairement des surfaces de petites tailles. Or la multiplication de ces changements de faible amplitude se traduit aujourd'hui par des changements tangibles pouvant avoir des répercussions non seulement à l'échelle locale, mais également régionale, voire nationale. Ces « micro-changements » sont par essence difficilement observables avec des images de faible résolution spatiale.

Traiter des changements d'occupation des sols impose le choix de la référence historique. La densité de population sur le littoral breton et dans le Pays de Brest est historiquement élevée, mais cette densité tend à s'accroître fortement depuis les années 1950, avec l'apparition de nouvelles dynamiques de peuplement : périurbanisation, retour des retraités au pays et développement d'une littoralisation de type contemplative (Ollivro, 2005). En 1986, la loi Littoral a apporté une première réponse réglementaire à la nécessité d'encadrer le développement anarchique des constructions sur les littoraux.

Une des finalités de cette étude consiste à évaluer l'influence du littoral sur les dynamiques d'occupation des sols du Pays de Brest. Il nous a donc semblé pertinent de prendre comme point de départ une année antérieure à la mise en place de la loi Littoral, afin de tenter d'en évaluer la portée sur les modes d'occupation des sols. En outre la faible amplitude des changements d'occupation des sols observables sur le Pays de Brest implique de disposer d'un pas de temps suffisamment long pour permettre leur identification. Enfin l'exploitation des données de changements d'occupation des sols obtenus impose de disposer de données socio-économiques couvrant un pas de temps similaire à l'amplitude temporelle de l'étude diachronique.

Avant de mettre en place une méthode d'identification des changements d'occupation des sols survenus dans le Pays de Brest, nous avons procédé à un inventaire des données disponibles depuis les années 1950. Sur la base de cet inventaire, différents types de données diachroniques ont été traités par des méthodes spécifiques.

1. Les données disponibles

L'inventaire des données concerne soit des informations structurées dans des bases d'informations géographiques, soit des images (aériennes et satellitaires) pouvant être mobilisées pour la production d'une information d'occupation des sols.

1.1. Informations thématiques

1.1.1. CORINE Land Cover

La Bretagne et donc le Pays de Brest disposent grâce à CLC d'informations relatives à l'occupation des sols pour trois dates : 1990, 2000 et 2006 (figure 46) auxquelles s'ajoutent des informations relatives aux changements d'occupation des sols pour les périodes 1990-2000 et 2000-2006 (figure 47).

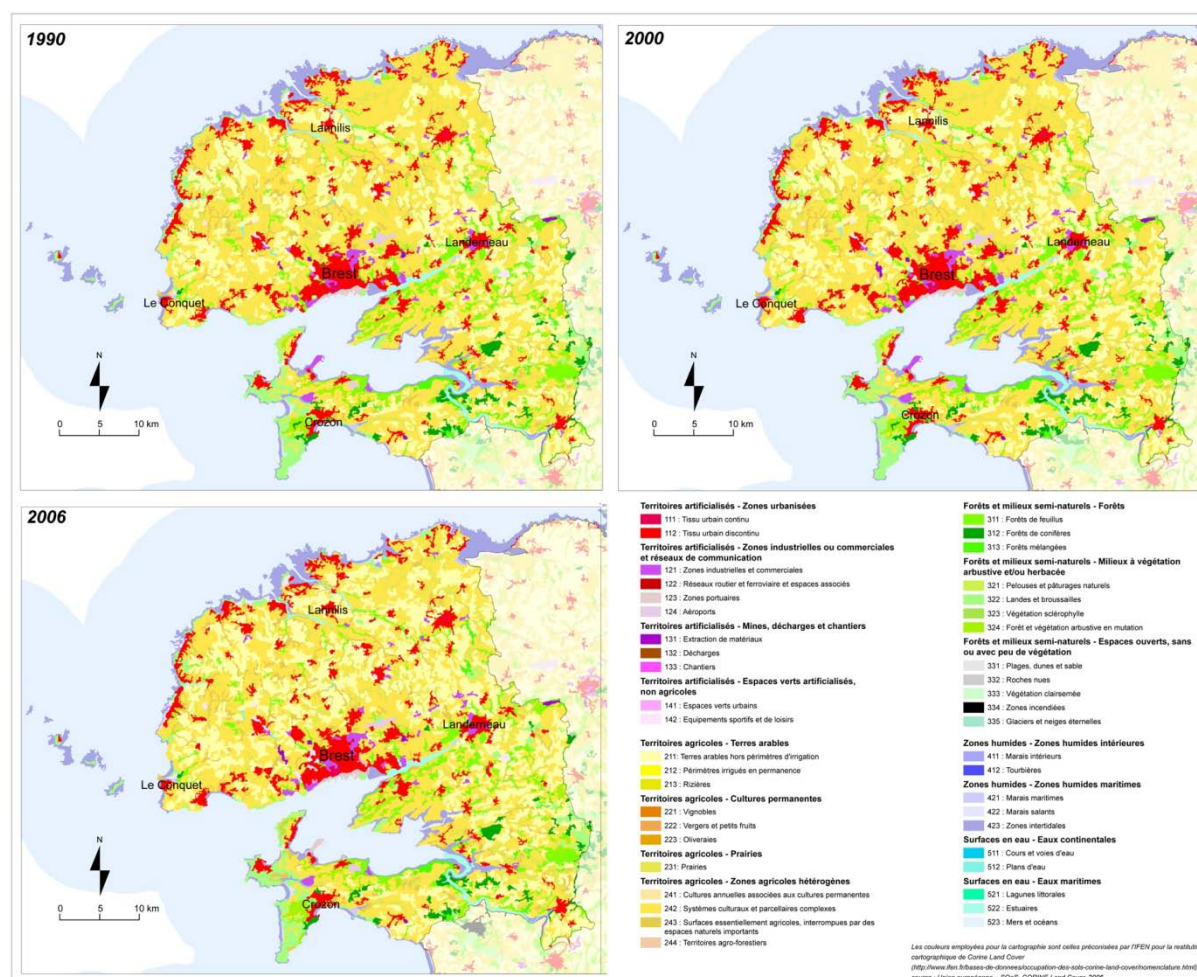


Figure 46 : Occupation et l'utilisation des sols dans le Pays de Brest en 1990, 2000 et 2006 (source : Union européenne – SOeS, CORINE Land Cover, 2006.).

Pour une application locale, la principale limite de l'utilisation de CLC est son échelle d'utilisation : le 1/100 000 avec une taille minimale des zones identifiées de 25 ha pour l'occupation des sols et de 5 ha pour les changements d'occupation des sols. Cette résolution est le résultat de compromis entre la surface couverte par la base de données (l'Europe entière...) et ses contraintes de production à des coûts et avec des délais acceptables. De fait, les données CORINE Land Cover sont pertinentes à une échelle nationale, régionale, voire départementale (EAA, 2007), mais ne permettent pas une utilisation à l'échelle communale, comme le montre la figure 45. Cette base de données est par conséquent peu adaptée aux besoins des gestionnaires et des collectivités, qui travaillent à des échelles plus fines que le niveau départemental. En outre leur caractère synthétique les rend inadaptées sur le littoral (Bersani C. *et al.*, 2006).

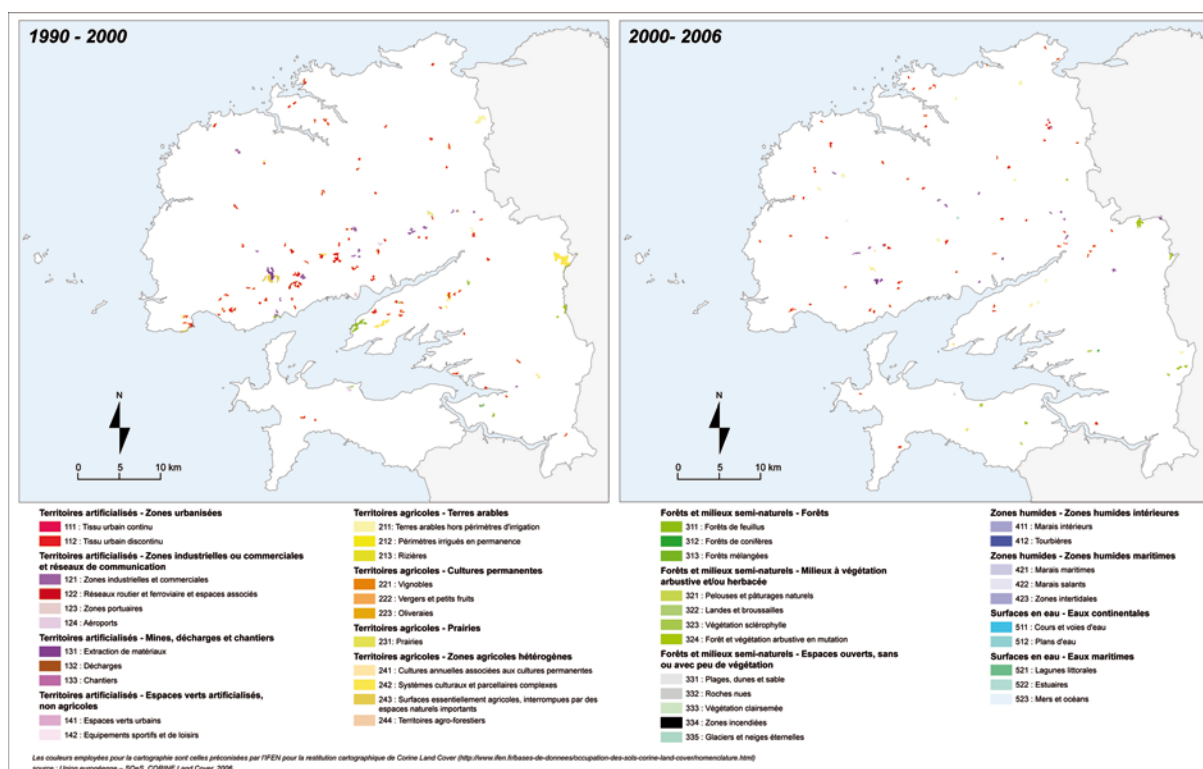


Figure 47 : Changements d'occupation et d'utilisation des sols dans le Pays de Brest entre 1990 et 2006 d'après CORINE Land Cover.

De plus les informations les plus anciennes collectées dans le cadre de CLC datent de 1990. Cette source d'information n'est donc pas suffisante pour appréhender les changements d'occupation des sols sur un littoral français et breton soumis à des pressions anthropiques grandissantes depuis les années 1970. CLC ne permet pas non plus d'évaluer dans leur intégralité les conséquences de la loi Littoral promulguée en 1986.

1.1.2. L'Inventaire Permanent du Littoral 1977

Sur le Pays de Brest, l'IPLI n'est disponible que pour l'année 1977 et conformément au cahier des charges, uniquement sur la zone côtière (figure 48). Cependant cet état de

référence présente l'intérêt majeur de permettre d'évaluer les changements survenus sur une période d'environ trente ans.

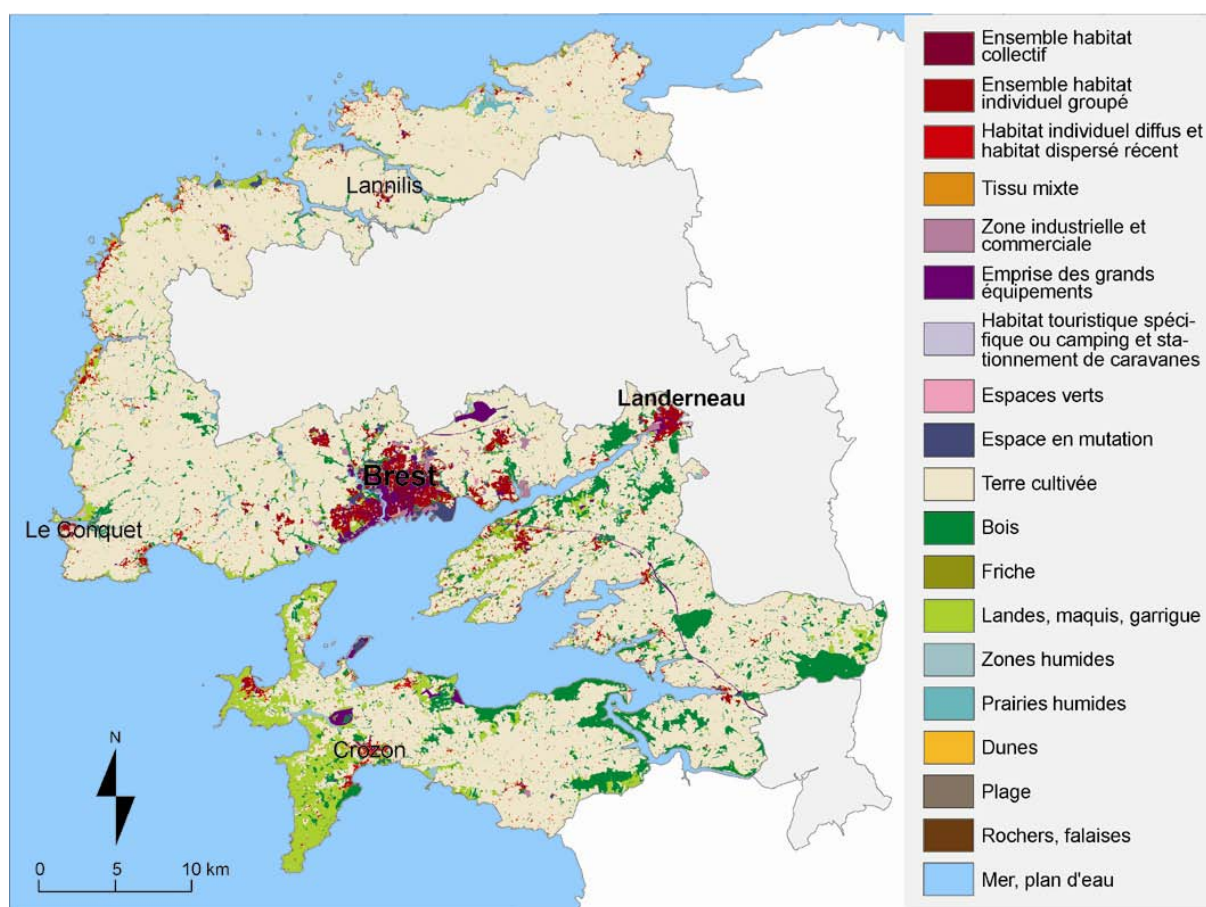


Figure 48 : Occupation et l'utilisation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977.

L'échelle d'utilisation de 1/25 000ème est *a priori* suffisamment fine pour restituer la complexité de l'occupation du littoral et d'en analyser les changements. C'est aussi une échelle pertinente pour répondre aux besoins des collectivités et des gestionnaires du littoral. Des efforts récents, locaux ou régionaux, de mise à jour des données de l'IPLI témoignent de l'intérêt que peuvent trouver les utilisateurs à une information spécifiquement littorale produite à une échelle spatiale plus fine que celle de CLC. On peut citer la mise à jour de l'IPLI pour la Région Bretagne dans le cadre de la production de l'Atlas de l'évolution de l'occupation des sols sur le littoral breton entre 1977 et 2003 à l'initiative de la DRE Bretagne (cf. p.63), la production de l'IPLI-2000 (mise à jour de l'IPLI) par le CETE Normandie-Centre pour le compte de la DRE Aquitaine⁷⁴, ou le projet Litto-MOS de réactualisation de l'IPLI (cf. p.62).

Cependant certaines classes de l'IPLI souffrent d'une définition floue, ou sont propres à une démarche de photo-interprétation. C'est le cas par exemple de la classe « tissu mixte » qui correspond à un « mélange hétérogène de différents types d'habitats, d'industries et de commerces », ou encore de la classe « espaces en mutation » décrite comme des

74. <http://adelie.application.developpement-durable.gouv.fr/completeFiche.do?fiche=1609>

« espaces dont l'aspect dégradé laisse présager d'un changement d'affectation (terrain vague, friches industrielles, carrières ou décharges abandonnées) ». *A contrario*, les espaces urbanisés identifiés par l'IPLI sont très détaillés, avec des distinctions difficiles à effectuer par traitement d'image sans l'apport de données complémentaires. C'est par exemple le cas de la classe « habitat touristique spécifique ».

1.2. Données images

1.2.1. L'orthophotographie littorale

L'orthophotographie littorale a été acquise par l'IGN en 2000 sur décision du CIADT du 28 février 2000, dans le cadre d'un renforcement des capacités de suivi et d'étude du littoral français. Elle couvre l'ensemble des littoraux français métropolitains et remonte à l'intérieur des terres jusqu'à la limite de la salure des eaux. Elle est constituée d'une mosaïque d'images en couleur, orthorectifiées et d'une résolution spatiale de 50 cm. Elle est disponible librement au téléchargement *via* le site Géolittoral⁷⁵.

La mise à disposition de cette orthophotographie constitue une évolution importante dans la libéralisation des données de référence, et a été une avancée majeure dans la production d'information sur le littoral. Cette mise à disposition a permis aux acteurs de la zone côtière de développer leur propre base d'information dans leur secteur de compétence, et de développer une meilleure interopérabilité des données ainsi produites. Une enquête menée auprès des utilisateurs de l'orthophotographie littorale (associations, particuliers, bureaux d'études, universitaires, administrations, établissements publics) par le CETE Normandie-Centre a mis en évidence le succès de cette ressource utilisée diversement (fond de carte, outils d'analyse, de cartographie, référentiel géographique, etc.)⁷⁶. L'orthophotographie littorale a notamment été employée comme base pour la création d'informations ayant valeur d'état de référence sur l'occupation des sols en zone côtière (réactualisation de l'IPLI en Bretagne et Aquitaine). Une nouvelle couverture orthophotographique du littoral métropolitain est prévue pour 2011-2012.

A l'échelle du Pays de Brest, l'orthophotographie couvre une grande partie des communes littorales. Toutefois elle n'englobe pas l'ensemble des communes littorales (au sens de la loi Littoral) du secteur d'étude. Cette couverture est notamment insuffisante pour les communes du fond de la rade de Brest (figure 49). En outre certains secteurs littoraux sont masqués en raison de la présence de nombreuses zones militaires (centre-ville de Brest, presqu'île de Crozon).

75. http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=67

76. http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Enq_litto_trvx_cle511991.pdf

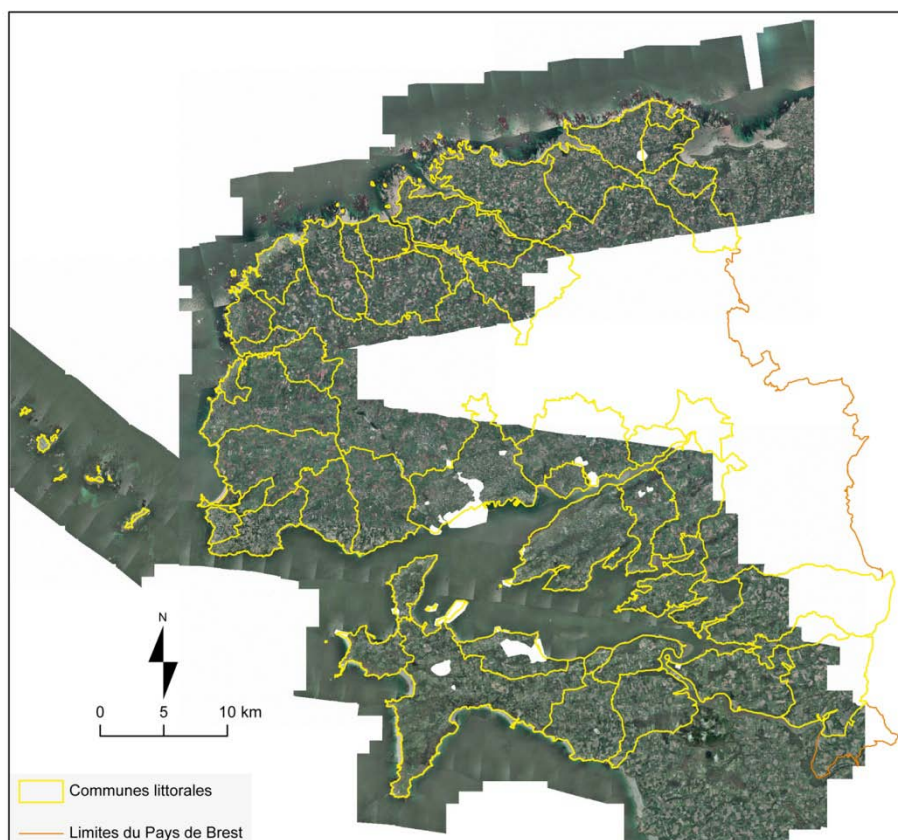


Figure 49 : Couverture de l'orthophotographie littorale pour le Pays de Brest.

L'orthophotographie est constituée d'une mosaïque de vues aériennes scannées et juxtaposées qui ont fait l'objet de prétraitements (réhaussement, rectification géométrique). Malgré une amélioration de la qualité des images la mosaïque d'images finale présente de nombreuses ruptures radiométriques (figure 50) qui contraignent la classification automatique à moins de procéder à une classification spécifique pour chaque dalle homogène radiométriquement (méthode chronophage). Le seul traitement envisageable pour extraire une information relative à l'occupation des sols à partir de l'orthophotographie littorale est donc la photo-interprétation, avec les limites de temps et de moyens inhérentes à cette approche.



Figure 50 : Exemple de rupture radiométrique dans l'orthophotographie littorale 2000.

L'emprise spatiale insuffisante de l'orthophotographie sur le littoral du Pays de Brest et les limites techniques liées à la donnée ne permettent pas de produire une information sur l'occupation des sols satisfaisante au regard des objectifs de notre étude.

1.2.2. L'image SPOT 5

En 2004, l'appel à proposition de recherche CNES/IFEN « Suivi du littoral à grande échelle »⁷⁷, est lancé afin de tester les potentialités et les limites des images du satellite SPOT 5. Plusieurs projets sont réalisés dont l'un concerne la cartographie de l'occupation des sols du littoral finistérien (Le Berre *et al.*, 2005) et l'autre la végétation terrestre de l'île d'Ouessant (Gourmelon *et al.*, 2005b). L'image traitée a été acquise le 17 avril 2003 sur programmation en mode multibande à 10 m de résolution spatiale. Elle couvre l'ensemble du Pays de Brest, à l'exception de l'île de Molène, des îlots de son archipel, du Cap de la Chèvre (la pointe sud de la presqu'île de Crozon) et de la commune de Saint-Ségal (sud-est du Pays de Brest) (figure 51).

77. <http://www.littoral.ifen.fr/Projet-Cnes-Ifen.185.0.html>
<http://www.littoral.ifen.fr/Travail-Cnes-Ifen.74.0.html>

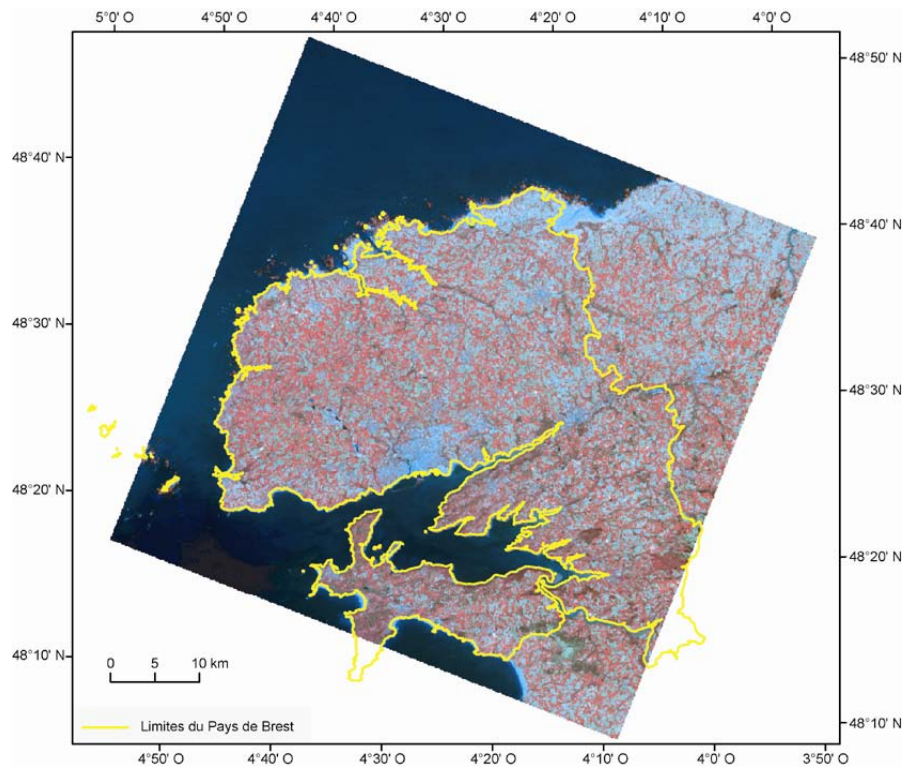


Figure 51 : Scène HRG-XS de SPOT 5 (Sparfel *et al.*, 2008).

Les images SPOT 5 sont disponibles à deux résolutions : une résolution à 10 m en multispectral qui correspond à une image HR et une résolution à 2,5 m (« Super-Mode ») en panchromatique qui correspond à une image THR. Cette haute résolution spatiale confère à l'imagerie SPOT 5 une supériorité sur d'autres types d'images HR équivalentes telles que les images Landsat (30 m de résolution). Mais l'avantage majeur de SPOT 5 réside dans son rapport résolution / fauchée en mode multi-spectral, bien supérieur à celui de capteurs équivalents (tableau 15).

Nom du capteur	Type de capteur	Résolution	Fauchée
SPOT 5	HR	10 m en mode multispectral 2,5 m en mode panchromatique	60 km
Landsat ETM +	HR	30 m	185 km
LISS-III	HR	23 m	141 km
LISS-IV	HR	5,8 m en mode multispectral et panchromatique	29,3 km en mode multispectral 70,3 km en mode panchromatique
GeoEye	THR	1,65 m	15,2 km
Ikonos	THR	1 m en mode panchromatique 4 m en mode multispectral	11,3 – 13,8 km
Resurs-DK1	THR	1 m en mode panchromatique 2-3 m en mode multispectral	4,7 – 28,3 km
Quickbird	THR	0,61 m en mode panchromatique 2,44 m en mode multispectral	16,5 km

Tableau 15 : Comparaison de la résolution et de la fauchée de quelques capteurs HR et THR.

Lors du lancement de SPOT 5 en 2002, la répétitivité des prises de vues et la possibilité de les programmer était également un grand avantage de ce capteur par rapport à d'autres capteurs équivalents de type Landsat. Toutefois les capteurs THR de type Ikonos ou Quickbird proposent également ce type de services. L'exploitation des images SPOT 5 permet des restitutions cartographiques haute résolution allant jusqu'au 1/10 000 (Gourmelon *et al.*, 2005b). L'imagerie SPOT 5 représente donc un compromis intéressant pour des applications visant à disposer de données haute résolution, mais ne nécessitant pas forcément une résolution métrique ou submétrique. Elle permet de couvrir avec une seule image une surface pour laquelle au moins quatre images THR seraient nécessaires.

1.2.3. Les photographies aériennes

En France, des missions systématiques d'acquisition de photographies aériennes verticales souvent de très bonne qualité sont entreprises tous les cinq à dix ans environ par l'IGN depuis les années 1950. Ces missions couvrent la zone côtière du Pays de Brest depuis 1952, sous la forme de photographies aériennes noir et blanc, puis couleur à partir des années 1990. Elles sont disponibles à l'échelle de 1/25 000 ou 1/ 30 000.

Localement, la classification automatique d'orthoimages numériques peut être envisagée, par exemple pour caractériser finement la végétation terrestre à grande échelle (Gourmelon, 2002). L'échelle des photographies disponibles pour le Pays de Brest en fait une donnée pertinente pour l'obtention de données relatives à l'occupation des sols suffisamment détaillées. En outre les images les plus anciennes disponibles datent de 1952, et constituent une donnée de référence assez éloignée dans le temps pour identifier les évolutions les plus significatives dans un espace à l'occupation des sols très hétérogène où les changements observés sont généralement de faible amplitude spatiale.

Mais, sur de vastes espaces, les photographies aériennes se prêtent mal à une exploitation par traitement d'image (Gourmelon *et al.*, 2005b). En effet, le nombre d'images nécessaires pour couvrir un territoire comme le Pays de Brest est très important⁷⁸. Cela se traduit par une augmentation sensible de l'effort de prétraitement à consentir (production de mosaïque, orthorectification) et, malgré les corrections radiométriques apportées pour atténuer l'effet « mosaïque » résultant, les différences de réponses entre les images restent largement visibles. Ces décalages radiométriques sont alors source d'erreurs dans la classification. C'est pourquoi les photographies aériennes font la plupart du temps l'objet d'un fastidieux travail de photo-interprétation souvent compliqué par la qualité parfois médiocre des sources et par l'impossibilité d'acquérir des données de validation.

1.3. Données retenues

1.3.1. Les données de référence : IPLI et SPOT 5

Au vu de leurs avantages et inconvénients, récapitulés dans le tableau 16, les informations et données retenues pour l'évaluation des changements d'occupation des sols sont l'IPLI d'une part (pour la référence historique), et l'image SPOT 5 d'autre part (pour la référence actuelle).

78. On a estimé à environ 500 le nombre d'images au 1/30 000 nécessaires pour couvrir l'intégralité du Pays de Brest.

Type de données	Avantages	Inconvénients
CORINE Land Cover	<p>La donnée est une carte thématique structurée selon une typologie détaillée de l'occupation des sols.</p> <p>La donnée a valeur de référence à l'échelle européenne.</p> <p>Données d'occupation des sols disponibles à trois dates (1990, 2000 et 2006).</p> <p>Données des changements d'occupation des sols disponibles pour deux périodes (1990-2000 et 2000-2006).</p> <p>Bonne précision globale de la donnée : 85 % \pm 0,8 % (EEA, 2006).</p> <p>Données facilement accessibles.</p>	<p>Echelle d'utilisation de la donnée (1/100 000) peu adaptée à la superficie de la zone d'étude. Taille minimale des objets identifiés : 25 ha.</p> <p>Les données les plus anciennes datent de 1990.</p> <p>La donnée et la typologie sont peu adaptées aux spécificités littorales (Bersani <i>et al.</i>, 2006).</p> <p>La taille minimale des changements identifiés (5 ha) est peu adaptée compte tenu des spécificités de la zone d'étude.</p>
IPLI-1977	<p>La donnée est une carte thématique structurée selon une typologie décrivant l'occupation des sols de façon cohérente et adaptée aux spécificités littorales.</p> <p>Echelle d'utilisation de la donnée (1/25 000) adaptée à la superficie de la zone d'étude.</p> <p>Donnée produite à une date antérieure à la loi Littoral.</p>	<p>Une seule date disponible (1977).</p> <p>Donnée produite par photo-interprétation de photographies aériennes noir et blanc.</p> <p>Certaines classes de la typologie sont spécifiques à l'interprétation visuelle ("tissu mixte", "espaces en mutation").</p> <p>Pas d'évaluation de la qualité de la donnée produite.</p> <p>Des différences entre la version papier originelle et la version numérique produite ultérieurement.</p>
Orthophotographie littorale	<p>Résolution de l'image (50 cm) suffisante pour une description détaillée de l'occupation des sols à l'échelle du Pays de Brest.</p> <p>Données facilement accessibles.</p> <p>Images prétraitées (corrections géométriques, redressement, géoréférencement).</p>	<p>Image brute (information relative à l'occupation des sols à extraire).</p> <p>Couverture spatiale insuffisante pour le Pays de Brest.</p> <p>Ruptures radiométriques rendant la classification automatique difficile.</p>
Photographies aériennes	<p>Résolution des images suffisantes pour une description détaillée de l'occupation des sols à l'échelle du Pays de Brest.</p> <p>Données facilement accessibles.</p>	<p>Nombre d'images nécessaires très élevées.</p> <p>Lourdeur de la phase de prétraitements nécessaires à la classification.</p> <p>Risque de ruptures radiométriques rendant la classification automatique difficile.</p>
Images SPOT 5	<p>Donnée disponible immédiatement au début de l'étude.</p> <p>Les potentialités de cette image SPOT 5 pour la cartographie de l'occupation des sols en milieu littoral ont été testées (Le Berre <i>et al.</i>, 2005 ; Gourmelon <i>et al.</i>, 2005).</p> <p>Résolution de l'image (10 m) suffisante pour une description détaillée de l'occupation des sols à l'échelle du Pays de Brest.</p> <p>Homogénéité radiométrique de l'image.</p> <p>Image prétraitée (corrections géométriques et radiométriques, redressement, géoréférencement).</p>	<p>Image non interprétée (information relative à l'occupation des sols à extraire).</p> <p>L'image ne couvre pas l'intégralité du Pays de Brest (manque le sud de la presqu'île de Crozon, l'archipel de Molène et une partie de la commune de Saint-Segal).</p>

Tableau 16 : Avantages et inconvénients des données d'occupation des sols disponibles à l'échelle du Pays de Brest.

Le choix de retenir l'IPLI comme donnée de référence résulte d'un double compromis. D'une part considérant l'emprise temporelle recherchée et l'échelle retenue, les données CLC ne sont pas suffisamment anciennes. D'autre part le traitement nécessaire à l'interprétation de photographies aériennes a été jugé trop coûteux en temps de travail au vu des objectifs de l'étude. Considérant ces éléments, l'IPLI présente l'avantage d'être une information thématique déjà structurée. Son utilisation est également l'occasion d'en tester les potentialités et de proposer une évaluation quantitative de sa qualité.

Pour la référence récente, la donnée retenue est l'image SPOT 5. En effet malgré leurs nombreux avantages les données CLC s'avèrent trop grossières. Le traitement de l'orthophotographie littorale pour l'obtention de données relatives à l'occupation des sols implique la mise en place d'une méthodologie complexe trop coûteuse en temps, que la méthode envisagée soit le traitement numérique ou la photo-interprétation. L'image SPOT 5 présente enfin des avantages : les potentialités de la donnée ont été déjà évaluées (Le Berre *et al.*, 2005 ; Gourmelon *et al.*, 2005b), l'image couvre la quasi-totalité de la zone d'étude, la résolution de l'image est adaptée à la problématique, la classification automatique est tout à fait indiquée pour la production d'une information relative à l'occupation des sols. Enfin l'image était disponible immédiatement au début de cette étude.

1.3.2. Les données en appui du traitement de l'image SPOT

Afin d'identifier les changements d'occupation des sols survenus dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003, une classification a été préalablement effectuée à partir de l'image SPOT 5 afin d'en extraire une information relative à l'occupation des sols du Pays de Brest en 2003. Ce traitement a justifié l'acquisition de données complémentaires.

Deux jeux d'orthoimages ont été mis à notre disposition par la communauté urbaine de Brest (Brest Métropole Océane – BMO), l'un en couleurs naturelles, le second en proche infrarouge couleur. Ces orthoimages ont été acquises le 8 septembre 2004 pour enrichir la base d'informations géospatialisées dont dispose BMO et pour servir de support aux études réalisées dans les domaines de l'urbanisme, de l'aménagement du territoire, des transports⁷⁹. Ces données sont en accès libre⁸⁰. Les orthoimages sont disponibles à 20 cm de résolution spatiale⁸¹, en projection Lambert 1. Comptant chacun 400 dalles environ, ces deux jeux couvrent le territoire de BMO. Ces données ont permis la saisie de 150 points de contrôle destinés à la validation de la classification.

D'autres points de contrôle, soit 920 points, ont été collectés sur le terrain (figure 52).

79. <http://www.brest.fr/territoire-competences/brest-metropole-oceane/bmo-vue-du-ciel.html>

80. http://applications002.brest-metropole-oceane.fr/VIPDU40/aspx/HTDU401.aspx?XMIN=123640&YMIN=6825580&XMAX=168896&YMAX=6847984&DCART=photo_aerienne

81. Une nouvelle campagne d'acquisition d'orthoimages sur le territoire de BMO a eu lieu le 4 juin 2010. Les orthoimages acquises lors de ce survol ont une résolution spatiale de 10 cm, mais ne sont pas libre d'accès.

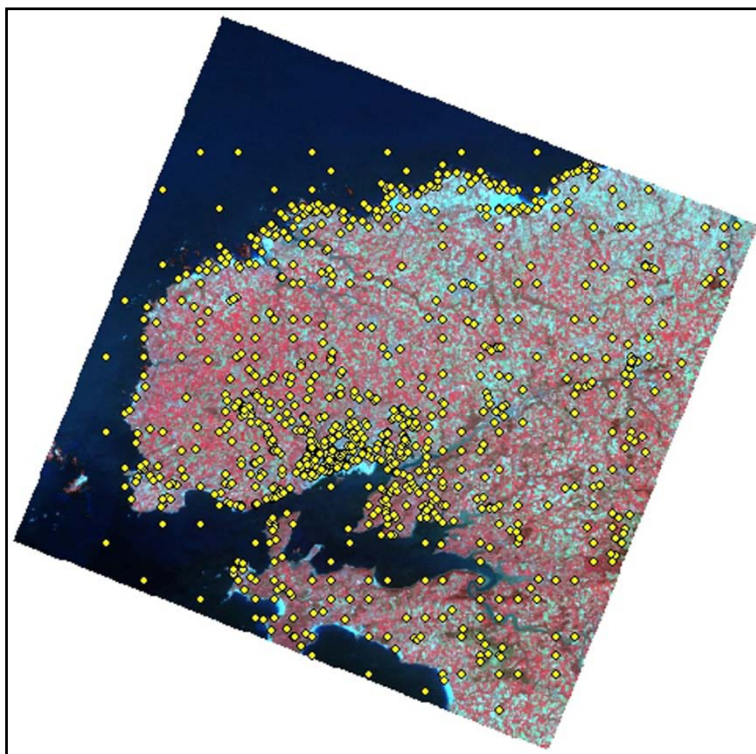


Figure 52 : Localisation des points de contrôle pour la validation de la classification

Cette collecte a été effectuée préalablement au traitement de l'image, à raison de 20 à 50 points par classe au niveau le plus fin de la typologie. La localisation des points est déterminée par un échantillonnage au hasard, établi à partir d'une grille régulière de points espacés de 2 km couvrant l'ensemble de l'image et complété par un échantillonnage stratifié pour les classes sous-estimées lors de l'échantillonnage au hasard (Girard et Girard, 2004).

La base de données sur la CARTographie THématique des AGences de l'Eau (BD Carthage)⁸² est utilisée au cours du traitement pour la création d'une couche thématique « eau » permettant une meilleure classification de la classe « prairie humide ». Elle est élaborée par les Agences de l'Eau, sur la base de la BDCarto® de l'IGN qui fournit un référentiel vectoriel exploitable au 1/50 000, enrichi par de l'information thématique et spatiale concernant l'hydrographie.

La BDTopo® de l'IGN⁸³ est utilisée après classification de l'image SPOT 5 pour l'identification des routes principales (quatre voies et nationales) du Pays de Brest, et pour le calcul de la consommation de l'espace par les infrastructures de transport routier. Seconde composante du Référentiel à Grande Echelle (RGE), la BDTopo® fournit une description des éléments du paysage sous forme de vecteurs de précision métrique, classés selon une thématique adaptée.

82. La BD Carthage est un référentiel national hydrographique diffusé par Sandre (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau : <http://sandre.eaufrance.fr/>) qui est chargé en particulier du Système d'Information sur l'Eau (SIE) et qui a pour missions de rassembler et de diffuser tous les référentiels sur l'eau en France.

83. <http://professionnels.ign.fr/ficheProduitCMS.do?idDoc=5287265>

2. Méthode de production d'une information relative à l'occupation des sols

Les limites des méthodes de photo-interprétation pour la production d'une donnée d'occupation des sols à grande échelle et sur des territoires étendus sont bien connues : délais de traitement, hétérogénéité de l'interprétation, capacité de mise à jour décennales qui les rend peu opérationnelles dans un contexte de suivi à court terme (Le Berre *et al.*, 2005). Pourtant la production de l'IPLI, comme celle de CORINE Land Cover s'appuie sur cette méthode appliquée à des photographies aériennes (IPLI) ou à des images satellitaires (SPOT et Landsat pour CORINE Land Cover). Considérant de plus, les limites liées à la photographie aérienne en tant que telle (variations radiométriques, missions décennales ou quinquennales), de précédents travaux ayant pour objectif la cartographie de la zone côtière (trait de côte, occupation des sols et de l'estran) (Le Berre *et al.*, 2005) et plus spécifiquement l'inventaire de la végétation insulaire (Gourmelon *et al.*, 2005b) se sont intéressés aux apports de l'imagerie SPOT 5 haute résolution. En utilisant différentes méthodes (photo-interprétation, traitement d'image et analyse spatiale), elles ont montré non seulement l'intérêt et les limites de SPOT 5 par rapport à l'imagerie aérienne mais aussi les limites des méthodes de classification spectrale. Ce constat converge avec celui dressé par de nombreux auteurs, relatif aux méthodes d'extraction de l'information des images à haute et très haute résolution. En effet plus la résolution spatiale est fine, plus l'hétérogénéité des objets à extraire croît, rendant les méthodes spectrales de moins en moins performantes (Blaschke et Strobl, 2001 ; Townshend *et al.*, 2000). Pour palier cette inadaptation des méthodes classiques aux images à haute résolution, des approches « orientées-objets » se sont développées depuis une dizaine d'années en utilisant une gamme de critères plus large (spectraux, spatiaux, contextuels...). Appliquées à différents types d'image, elles fournissent de meilleurs résultats que les méthodes uniquement basées sur les valeurs spectrales (Harken et Sugumaran, 2005 ; Kamagata *et al.*, 2005 ; Rego et Koch, 2003 ; Willhauck, 2000 ; Lucas *et al.*, 2011).

Néanmoins l'approche orientée-objet implique une connaissance experte de l'information à extraire, ce qui explique probablement son utilisation « sectorielle ». En effet la plupart des recherches qui l'utilisent concerne des types d'objets précis tels que l'urbain ou la végétation (Lucas *et al.*, 2011 ; Chubey *et al.*, 2006 ; Flanders *et al.*, 2003 ; Hajek, 2005). Elle est également utilisée pour mettre en évidence des changements spatiaux (Desclée *et al.*, 2006 ; McDermid *et al.*, 2003) tels que la croissance urbaine (Puissant et Weber, 2004 ; Aguejdad *et al.*, 2006). Les études visant à produire une information exhaustive concernant l'occupation des sols sont peu nombreuses (Corbane *et al.*, 2004 ; Lewinski, 2005 ; Lucas *et al.*, 2007 ; van der Sande *et al.*, 2003), et à notre connaissance aucune d'entre elles ne concerne un territoire aussi complexe que la zone côtière.

Fort de ces constats, le choix de la classification orientée-objet pour l'extraction d'informations d'occupation des sols du Pays de Brest s'est imposé. La production de la couche d'information relative à l'occupation des sols par classification orientée-objet de l'image SPOT 5 s'est déroulée en quatre étapes successives : élaboration de la typologie, traitement de l'image, intégration dans une base d'information géographique et validation des résultats (figure 53).

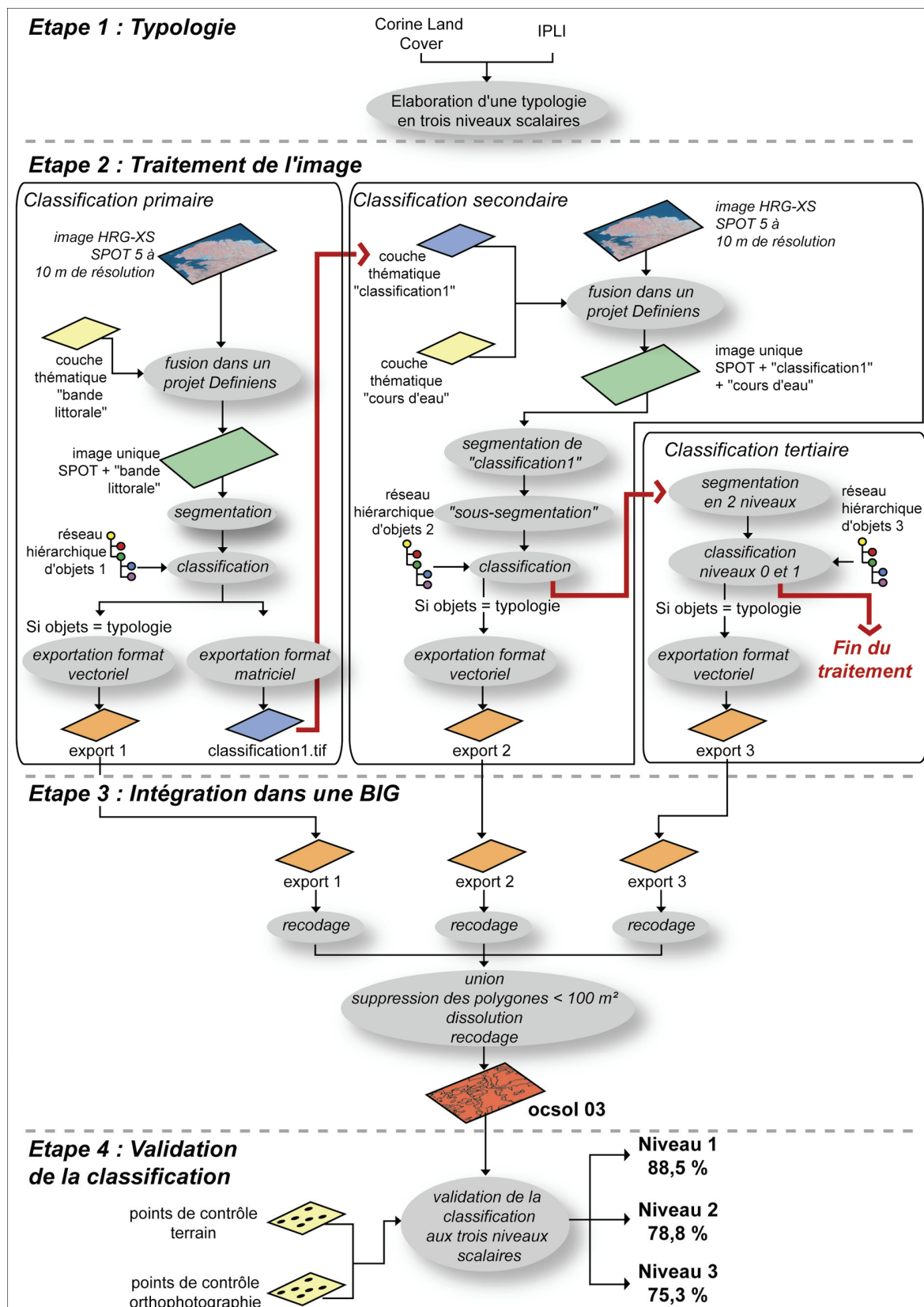


Figure 53 : Organigramme méthodologique pour la classification orientée-objet de l'image SPOT 5.

2.1. La typologie

La première étape consiste à élaborer une typologie au 1/25 000, échelle retenue pour la description de l'occupation des sols du Pays de Brest. Cette typologie sert de cadre à la classification de l'image SPOT 5. Elle tient compte des typologies en usage, à savoir CORINE Land Cover (CLC) 2000 et le volet « occupation et usage des sols » de l'IPLI. De manière à tester l'approche en trois niveaux scalaires, la nomenclature hiérarchisée CLC est conservée. Le niveau 1 de la typologie, au 1/500 000, décrit sommairement l'occupation des sols en cinq classes. Le niveau 2 au 1/100 000 en 14 classes correspond du point de vue scalaire au niveau 3 de CLC. Le niveau 3 au 1/25 000 en 22 classes correspond au niveau de description de l'IPLI. De manière à permettre des comparaisons ultérieures, les correspondances entre cette nouvelle typologie et les typologies IPLI et CORINE Land Cover sont maintenues. La typologie définitive est élaborée à la suite de tests de classification réalisés sur des extraits de l'image SPOT 5. Ont été retenues des classes pertinentes pour l'étude des changements d'occupation des sols du Pays de Brest et ne nécessitant pas un temps de traitement trop long. Ainsi, au niveau le plus fin de la typologie (niveau 3), huit classes décrivent les zones artificialisées, deux classes les terres agricoles, six classes les forêts et milieux naturels et semi-naturels, quatre classes la bande littorale, et enfin deux classes les surfaces en eau (tableau 17).

Niveau 1 1/500 000	Niveau 2 1/100 000	Niveau 3 1/25 000	Corresp. CLC 00	Corresp. IPLI
1 - Zones artificialisées	11 - Habitat	111 - Tissu urbain dense	111	11
		112 - Tissu urbain discontinu	112	12
		113 - Tissu semi urbain (bourg, hameau...)	112	10/12/13
	12 - Zone industrielle et commerciale	121 - Zone industrielle et commerciale	121	15
	13 - Infrastructures, grands équipements	131 - Infrastructures, grands équipements	122/123/124	16
	14 - Equipements sportifs et de loisirs	141 - Equipements sportifs 142 - Equipements de loisirs	141/142	16 18
2 - Terres agricoles	21 - Terres agricoles	151 - Carrières, décharges, chantiers	131/132/133	16
		211 - Terres cultivées, prairies 212 - Cultures hors-sol et sous serres	212/242/231 211/242	20/21/22 21
3 - Forêts et milieux naturels et semi-naturels	31 - Forêts et plantations	311 - Forêt de résineux 312 - Forêt de feuillus ou mixte	311 312/313	29 29
	32 - Lande	321 - Lande	243/322	26/28
	33 - Broussailles	331 - Broussailles		26
	34 - Zones humides	341 - Zones humides intérieures	411/412	41
		342 - Prairies humides	231	23
4 - Bande littorale	41 - Végétation littorale et marine	411 - Végétation littorale rase 412 - Algues	331/333	28/100
	42 - Espaces littoraux minéralisés	421 - Estran sableux / vaseux 422 - Falaises, roches nues	331/421/423 332	32/40/41 30
		511 - Mer 512 - Eaux continentales	523 511/512/513	40/43 40/41
5 - Surfaces en eau	51 - Surfaces en eau			

Tableau 17 : Typologie élaborée pour la classification de l'image SPOT 5.

Le choix d'établir une typologie originale propre à l'image SPOT 5 résulte du constat suivant : certaines classes de l'IPLI se rapportent à des usages des sols difficiles à identifier

avec une méthode de classification semi-automatique, comme la classe « tissu mixte » ou « espace en mutation ». Quant à la typologie CLC, elle est peu adaptée au traitement de l'image du fait de certaines classes trop agrégées ou à l'inverse trop détaillées pour la thématique qui nous intéresse ici. Ainsi, les classes décrivant les densités de bâti sont limitées au « tissu urbain dense » et au « tissu urbain discontinu », ce qui nous a paru insuffisant pour le territoire étudié. A l'inverse, les classes correspondant à la végétation et aux structures agricoles de CLC sont trop détaillées pour les besoins de ce travail qui n'a pas vocation à traiter de la végétation en particulier, mais à décrire l'occupation des sols à l'échelle d'un territoire.

2.2. Traitement de l'image

La classification orientée-objet d'une image se décompose en plusieurs phases successives : segmentation de l'image en groupes de pixels (« objets »), construction du réseau hiérarchique de classe, application de l'algorithme de classification. Des données exogènes peuvent être ajoutées à l'image pour enrichir la classification. Ici, le traitement de l'image SPOT 5 s'appuie sur trois étapes : la production d'informations en appui à la classification, la segmentation et enfin la classification à proprement parler (figure 53). L'image a été traitée à l'aide du logiciel Definiens v.5⁸⁴ dédié à l'analyse orientée-objet.

2.2.1. Production d'informations en appui de la classification

Une couche thématique « bande littorale » est tout d'abord utilisée pour améliorer les performances de la classification. En effet, plusieurs tests ont montré d'importantes confusions entre les objets « littoraux » et certains objets « terrestres », et ce même après l'utilisation d'une fonction statistique d'appartenance déterminant une distance à la classe « mer ». Cette couche thématique, numérisée à l'écran à partir de l'image SPOT 5, englobe les objets de cette interface tels que la mer, la végétation littorale rase / végétation dunaire, les estrans sableux et vaseux, les falaises et roches, et algues, et enfin les broussailles littorales. La donnée produite est importée sous forme de couche thématique au sein du projet et fusionnée à l'image SPOT 5, permettant l'obtention d'un supplément d'information pour la classification de l'image.

De la même façon, une couche thématique « eau » est intégrée au projet. Elle est extraite de la base de données Carthage fournie par l'IGN. Elle permet d'augmenter les performances de classification des objets « prairies humides » en intégrant une fonction statistique d'appartenance fondée sur la distance à un cours d'eau.

2.2.2. Segmentation de l'image

L'algorithme de segmentation implémenté dans le logiciel Definiens est un algorithme de segmentation multi-résolution (Baatz et Schäpe, 2000 ; Benz *et al.*, 2004). Blaschke et Strobl (2001) et Schiewe *et al.* (2001) ont montré que cet algorithme présente de nombreux

84. Ce logiciel est aujourd'hui développé et distribué par la société Trimble sous le nom de eCognition : <http://www.ecognition.com/>

avantages sur les autres méthodes de segmentation d'image : utilisation d'une fonction prenant en compte les pixels voisins pour la création d'objets les plus homogènes possibles, segmentation en plusieurs niveaux pour la création d'objets significatifs de taille très différente, paramétrage de quelques critères de segmentation (couleur, forme, texture) par l'utilisateur. Considérant ces avantages, cet algorithme est employé au cours du traitement de l'image. Les différents paramètres de segmentation utilisés sont formalisés de manière empirique à l'issue d'une phase de tests réalisés sur des extraits d'images, et de comparaison des résultats obtenus. La classification de l'image se déroulant en plusieurs étapes successives, chaque étape a fait l'objet de procédures de segmentation successives avec des paramètres spécifiques qui seront détaillés dans la description de la classification.

2.2.3. Construction du réseau hiérarchique de classes

En ce qui concerne la construction du réseau hiérarchique de classes, Puissant & Weber (2004) ont démontré les avantages d'une approche déductive par rapport à une approche linéaire. Cette dernière est définie par une combinaison linéaire de règles spécifiques, chaque ensemble de règles permettant d'identifier un type d'objet. L'approche déductive consiste quant à elle à effectuer une succession de masques en classant d'abord des objets aisément identifiables comme l'eau, et en créant ensuite une seconde classe « non eau » composée de tous les objets ne correspondant pas aux règles de connaissance de la classe « eau ». Les objets classés ensuite sont alors définis comme des « enfants » de la classe « non eau », et héritent ainsi de ses caractéristiques physiques. L'ensemble du réseau hiérarchique de classes est donc construit sur une succession d'exclusions, qui a pour effet d'augmenter la discrimination entre les objets et les performances de la classification. Les règles de connaissance implémentées au sein de chaque classe sont uniquement basées sur des fonctions statistiques d'appartenance. La méthode des plus proches voisins fondée sur la saisie d'objets d'entraînement est volontairement écartée dans le cadre de cette étude afin de permettre une reproductibilité optimale de la méthode (Chubey *et al.*, 2006 ; Puissant *et al.*, 2006). Le tableau 18 recense l'ensemble des fonctions d'appartenance utilisé pour la classification de l'image.

Type de critère	Fonction	Signification
Critères spectraux	Mean Layer 1, 2, 3, 4	Valeur moyenne des pixels d'un objet pour un canal de l'image.
	Brightness	Somme de la valeur moyenne des canaux contenant une information spectrale divisée par leur quantité calculée pour un objet (moyenne des moyennes spectrales d'un objet).
	Ratio Layer 2, 3	Le ratio d'un canal pour un objet indique la contribution de ce canal à la brillance totale de l'objet.
	Mean difference to neighbors objects	Pour chaque objet voisin, la différence moyenne du canal concerné est calculé et pondéré en fonction de la longueur de la bordure existant entre les objets. La notion de voisinage (neighborhood) peut être paramétrée : elle peut concerner uniquement les voisins immédiats ou alors les objets d'une certaine surface autour de l'objet pour lequel le calcul est effectué.
Critères de forme	Area	La surface d'un objet correspond au nombre de pixels que le compose. Dans le cas d'une image géoréférencée, la surface de l'objet correspond à la surface réelle du pixel multipliée par le nombre de pixel composant l'objet.
	Density	La densité correspond à la surface couverte par un objet divisée par son rayon.
	Rectangular fit	La première étape dans le calcul de ce critère consiste à créer un rectangle ayant la même surface que l'objet considéré. Les proportions de l'objet en terme de largeur et hauteur sont prises en compte. La surface de l'objet non contenue dans le rectangle en ensuite comparée à la surface contenue dans le rectangle.
Critères de texture	GLCM Homogeneity	La matrice de co-occurrence du niveau de gris (gray level co(occurrence matrix, GLCM) est un résumé de la structure d'une image. La structure est l'organisation des éléments texturaux les uns par rapport aux autres c'est-à-dire les relations spatiales qui existent entre eux dans une image. Les calculs des critères de texture du logiciel Definiens sont basés sur les travaux de Haralick.
Critères topologiques	Relative border to ...	La bordure relative à ... fait référence à la longueur de la bordure partagée avec les objets voisins. Ce critère décrit le ratio entre la longueur de la bordure partagée par un objet donné avec les objets voisins assimilés à telle ou telle classe et la longueur totale de la bordure. Si la bordure relative d'un objet par rapport aux objets d'une classe donnée est 1, l'objet en question est totalement encerclé par ces objets classés.
	Relative area of ...	La surface relative de ... correspond à la surface couverte par les objets assimilés à une certaine classe dans un périmètre défini situé autour de l'objet que l'on étudie, divisé par la surface totale des objets situés dans ce même périmètre. Le rayon permettant de définir le périmètre peut être paramétré.
	Existence of super-object ...	Le critère Existence d'un super-objet ... permet de vérifier si le "super-objet", c'est-à-dire l'objet situé au-dessus de l'objet considéré, est assimilé à telle ou telle classe. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.
	Relative area of sub-object ...	La surface relative des sous-objets ... correspond à la surface absolue couverte par les "sous-objets" assignés à la classe considérée. Si les données sont géoréférencées, les valeurs obtenus correspondent à la surface réelle. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.

Tableau 18 : Fonctions d'appartenance utilisées pour le traitement de l'image.

2.2.4. Classification de l'image

Au vu d'une part de l'hétérogénéité et de la taille de l'image et, d'autre part de la complexité des objets à extraire, l'image SPOT 5 est soumise à trois classifications successives (figure 53). La classification « primaire » permet non seulement d'identifier un maximum d'objets simples, mais aussi de préparer l'identification d'objets plus complexes. La classification « secondaire » sert à identifier les objets non classés lors de la classification primaire, à l'exception des objets urbains et des bâtiments dont le traitement fait l'objet d'une classification « tertiaire ». Précisons que ces trois classifications sont totalement indépendantes des trois niveaux hiérarchiques de la typologie.

2.2.4.1. Classification primaire

L'image SPOT 5 et la couche thématique « bande littorale » sont fusionnées au sein d'un projet pour ne former qu'une image unique. Afin d'effectuer la première classification, cette image est segmentée en utilisant les critères décrits dans le tableau 19. En raison de la grande diversité des objets à identifier, un poids égal est attribué aux trois bandes de l'image SPOT 5 (vert, rouge et proche infrarouge).

Nom de la classification	Informations utilisées	Types d'objets segmentés	Echelle	Couleur	Forme	Compacité	Lissage
Classification primaire	Image SPOT 5	Tous	10	0,8	0,2	0,5	0,5
	Bande littorale						
Classification secondaire	Image SPOT 5	Broussailles rural	10	0,8	0,2	0,5	0,5
	Classification1	Prairie rural					
		Végétation haute					
	Cours d'eau	Minéral rural	10	0,5	0,5	0,5	0,5
		Sol nu rural	10	0,5	0,5	0,8	0,2
Classification tertiaire	Image SPOT 5	Boisé rural	10	0,3	0,7	0,5	0,5
		Minéral rural (2)	5	0,8	0,2	0,5	0,5
		Minéral urbain (2)					
		Broussailles urbaines	30	0,5	0,5	0,5	0,5
		Prairie urbaine					
		Objets blancs ruraux					
		Objets blancs urbains					
		Sol nu urbain					
		Ombre					
		Minéral rural					
		Minéral urbain					

Tableau 19 : Critères de segmentation pour les classifications primaires, secondaires et tertiaires.

Un réseau hiérarchique d'objets est mis en place pour la classification primaire. Deux groupes d'objets sont créés : « rural » et « urbain ». La distance à ces groupes constituant une règle de classification pour certains objets, la classification prend en compte les relations entre objets et est donc effectuée avec un certain nombre d'itérations (5). Les objets sont ensuite fusionnés par classe. A l'issue de la classification, les objets classés correspondant à une classe de la typologie sont exportés au format vectoriel (export 1). La totalité de cette première classification est enfin exportée au format matriciel (.tif) « classification1 ». Cette image est créée dans le but d'apporter un complément d'information sous forme de couche thématique lors de la classification secondaire.

2.2.4.2. Classification secondaire

Le but de ce second traitement est d'identifier des objets « ruraux » complexes qui n'ont pu être classés de manière satisfaisante lors de la classification primaire. L'image « classification1 » est importée dans un nouveau projet sous forme de couche thématique. Elle est combinée à l'image SPOT 5 et à la couche thématique « cours d'eau » issue de la BD Carthage. Une première segmentation est effectuée en utilisant uniquement la couche thématique « classification1 » pour retrouver les contours des objets classés et fusionnés lors de la classification primaire. En utilisant la segmentation multi-résolution, certains types d'objets sont alors sous-segmentés en fonction de la classe à laquelle ils appartiennent (tableau 19). Le poids attribué aux trois bandes de l'image SPOT 5 varie en fonction de leur intérêt pour l'identification des objets. Un nouveau réseau hiérarchique est proposé pour

classer le maximum d'objets « ruraux ». Ces derniers sont ensuite exportés au format vectoriel (export 2).

2.2.4.3. Classification tertiaire

Des études ont montré la faiblesse de l'imagerie SPOT 5 pour l'identification fine des objets urbains (bâtiments isolés) (Le Berre *et al.*, 2005 ; Lacroix *et al.*, 2004). Afin d'améliorer l'identification du bâti, le troisième traitement ne concerne que les objets appartenant à un environnement urbain, ainsi que les bâtiments et les parcelles construites, qui n'ont pas été classés lors de la classification précédente. Un groupe d'objets « urbain » est constitué afin de préparer la classification tertiaire : il comprend un groupe « environnement urbain » concernant l'ensemble des objets constitutifs du milieu urbain et un groupe « bâtiments » concernant uniquement les maisons, immeubles et bâtiments industriels situés en milieu rural et en milieu urbain. Les potentialités de l'analyse multi-échelle sont utilisées ici afin de discriminer les densités urbaines, et deux niveaux empilés l'un sur l'autre sont créés. Dans un niveau 1 supérieur, tous les objets appartenant au groupe « environnement urbain » sont fusionnés, puis grossièrement segmentés (tableau 19). Un niveau 0 est créé en dessous du niveau 1, où les objets appartenant au groupe « bâtiments » sont fusionnés, puis très finement segmentés (tableau 19). A l'issue de cette étape de fusion et segmentation, un réseau hiérarchique d'objets est construit pour classer les objets des niveaux 0 et 1 simultanément. L'objectif au niveau 0 est de discriminer les « jardins », « maisons » et « objets blancs » pour formaliser des règles de connaissances basées sur la densité et la nature du bâti et d'aider à l'identification des classes « tissu urbain dense », « tissu urbain discontinu », « tissu semi-urbain » et « zone industrielle et commerciale » au niveau 1. A l'issue de cette classification tertiaire, l'ensemble des différentes classes constitutives du milieu urbain est identifié. Les objets urbains ainsi classés sont fusionnés par classe et exportés au format vectoriel (export 3).

2.2.5. Dictionnaire des règles de connaissances

Lors du traitement d'image, une quantité importante de données spatiales, spectrales, et contextuelles relatives aux objets décrivant l'occupation des sols en zone côtière est recueillie. Dans un souci de formalisation et de diffusion ultérieure, un dictionnaire des règles de connaissance est mis en place. Cette démarche s'inscrit dans le cadre de la réflexion actuelle sur la mutualisation de la connaissance et la définition de bases de données sémantiques, et se traduit par la construction d'une ontologie réutilisable dans les procédures de classification (Puissant *et al.*, 2006 ; Roussey *et al.*, 2004). Ces données sont référencées sous forme de fiches (figure 54) et seront prochainement accessibles sur le Géorépertoire MENr⁸⁵.

85. <http://menir.univ-brest.fr/accueil.php>


Estran sableux	
Description :	Confusions possibles : Confusions très fréquentes avec les surfaces imperméables, courantes en espace urbain, du fait d'une signature spectrale très proche pour les deux types d'objets. Pour limiter cette confusion, nous avons créé un masque thématique "bande littorale" qui permet de les séparer.
Critères d'identification :	Points de vérification sur le terrain : 50 points géoréférencés (Lambert II étendu)
Les estrans ressortent en bleu-grisâtre, parfois presque blanc, du fait de leur composition minérale. Ils ont la même couleur que le bâti, mais s'en distinguent très aisément. Ils se situent bien entendu à proximité de la mer et peuvent couvrir de très grandes surfaces. Ils présentent un aspect relativement lisse et uniforme.	Correspondance IPLI/CLC : Correspondance IPLI : Code 32 "Plage" Code 40 "Mer, plans d'eau" Correspondance CLC : Code 331 "Plages, dunes et sables" Code 421 "Marais maritimes" Code 423 "Zones intertidales"
Critères de classification	Extraits des images : 
Critères de classification <ul style="list-style-type: none">• Proximité avec la mer• Présence d'objets voisins rochers et algues	
Paramètres de classification <i>Classification au niveau 3</i> <ul style="list-style-type: none">• Appartenance à l'espace "bande littorale" défini par la couche thématique (le masque)• Ratio canal Vert compris entre 0,18 et 0,19 croissant (classe "minéral")• Moyenne du canal Rouge compris entre 104 et 106 croissant (pour délimiter substrat clair et substrat foncé)	

Figure 54 : Exemple de fiche issue du catalogue de données.

2.3. Intégration des données produites dans une Base d'Information Géographique (BIG)

Une BIG pilotée par le progiciel ArcGIS, est mise en œuvre à l'occasion de cette étude (figure 53). Les classifications successives y sont importées : la première à l'issue de la classification primaire, la seconde à l'issue de la classification secondaire (tous les objets sauf les objets « urbains »), la dernière à l'issue de la classification tertiaire (les objets « urbains »).

Il résulte de la vectorisation de ces trois classifications, trois couvertures de polygones auxquelles est appliqué le même traitement. Des classes sont unies pour être en cohérence avec la typologie établie. En effet, les tables attributaires des couvertures issues du traitement d'image contiennent un champ « CLASS » indiquant la classe à laquelle appartient le polygone. Mais certaines classes de la typologie sont composées de différents types d'objets dans la classification. Ainsi, la classe « terres cultivées » est constituée des objets « talus », « sols nus ruraux » et « champs », et les attributs « CLASS » de ces polygones seront donc « talus », « sols nus ruraux » et « champs », et non pas « terres cultivées ». En ce sens, un attribut « CODE3 » est créé, et l'ensemble des polygones est recodé pour correspondre à la typologie au niveau scalaire le plus fin.

Dans un second temps, ces trois couvertures sont réunies par une procédure d'union.

Puis dans un troisième temps, une série de traitement est appliquée à cette couverture unique. Les objets ayant une surface inférieure à un pixel de l'image (100 m²) sont considérés comme non significatifs et éliminés, c'est-à-dire combinés avec les polygones

voisins ayant la bordure la plus longue. Une opération de dissolution des contours d'objets est réalisée afin de regrouper les polygones adjacents décrits par la même classe attributaire « CODE3 » et de réduire ainsi le nombre de polygones contenus dans la couverture. Enfin, deux nouveaux champs attributaires « CODE1 » et « CODE2 » sont créés pour cette couverture, et renseignés en fonction de la typologie. Les trois niveaux scalaires apparaissent donc dans la structure attributaire de la couverture finale. Il résulte de ces traitements une couverture unique « ocsol 03 » composée de 74 326 polygones ayant une taille minimale de 100 m² et renseignée par six attributs : un identifiant, la taille et le périmètre de chaque polygone, et les codes correspondant aux trois niveaux de la typologie (figure 55).

	FID	Shape *	AREA	PERIMETER	CODE3	CODE1	CODE2
►	0	Polygon	1200000000	1000000	511	5	51
	1	Polygon	4600	340	421	4	42
	2	Polygon	13900,391	1460,016	421	4	42
	3	Polygon	9300	560	412	4	41
	4	Polygon	300	80	511	5	51
	5	Polygon	300	80	511	5	51
	6	Polygon	13901,094	940,016	511	5	51
	7	Polygon	2400	240	412	4	41
	8	Polygon	700	160	421	4	42
	9	Polygon	110000	4400,094	412	4	41
	10	Polygon	2500	320	421	4	42
	11	Polygon	44300,703	1940,016	511	5	51
	12	Polygon	7500,781	600,031	412	4	41
	13	Polygon	300,078	80,016	511	5	51
	14	Polygon	46401,719	1820,031	422	4	42
	15	Polygon	5600,078	900,016	421	4	42
	16	Polygon	780000	14120,219	421	4	42
	17	Polygon	3200,547	280,016	422	4	42
	18	Polygon	10000,625	840,016	421	4	42
	19	Polygon	190000	3560,078	511	5	51
	20	Polygon	14400,937	580,016	422	4	42

Figure 55 : Extrait de la table attributaire issues de la classification de l'image SPOT 5.

2.4. Validation de la classification

La performance globale du traitement est évaluée aux trois niveaux de description typologique par la construction de matrices de confusions inspirées de celles proposées par Congalton (1991), Congalton et Green (2009), ou Girard et Girard (2004). L'ensemble des points levés sur le terrain et sur les orthoimages fournies par BMO est stocké dans une couche d'information ponctuelle. Une zone tampon ou buffer de 1 m (pour demeurer en dessous de la taille du pixel) est calculée autour de chacun de ces points afin d'obtenir une information polygonale. Ces polygones sont décrits par trois codes (niveau 1, 2 et 3). Cette couche est ensuite intersectée avec la couche d'occupation des sols issue du traitement de l'image SPOT 5, afin de comparer les résultats de la classification avec les données de terrain. La formulation de requêtes croisées permet ensuite de recueillir les données alimentant les matrices de confusion aux trois niveaux de description pour évaluer les erreurs d'omission et de commission (Jensen, 2005). La performance finale de la classification et l'indice de Kappa sont également calculés (Congalton et Green, 2009).

3. Méthode de production d'une information relative aux changements d'occupation des sols entre 1977 et 2003

La méthode retenue pour l'identification des changements d'occupation des sols survenus dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 est imposée par notre choix d'utiliser la carte thématique de l'IPLI. Nous avons donc procédé à une identification de type post-classificatoire des changements en fusionnant les données de l'IPLI et les données issues de la classification de l'image SPOT 5. La qualité globale de la carte des changements obtenue a également fait l'objet d'une évaluation (Sparfel *et al.*, à paraître).

3.1. Choix de la méthode

De très nombreuses études portant sur la détection des changements d'occupation et d'utilisation des sols à différentes échelles et portant sur diverses thématiques ont été réalisées depuis les vingt-cinq dernières années (Käyhkö *et al.*, 2011 ; Chen *et al.*, 2005 ; Houet, 2006 ; Muttitanon et Tripathi, 2005 ; Lecerf, 2008 ; Singh, 1989 ; Ayad, 2005 ; Carlson et Sanchez-Azofeifa, 1999 ; Kilic *et al.*, 2006 ; Shalaby et Tateishi, 2007 ; Xiao *et al.*, 2006 ; Zhang *et al.*, 2002 ; Prakash et Gupta, 1998). Les données utilisées pour identifier les changements d'occupation des sols à une échelle locale sont le plus souvent des images géospatiales (images satellitaires ou photographies aériennes). Les méthodes employées pour traiter ces données et en extraire l'information relative aux changements d'occupation des sols sont nombreuses (Lu *et al.*, 2003 ; Jensen, 2005 ; Singh, 1989 ; Mas, 2000), et les résultats obtenus varient en fonction des méthodes et des données employées tant du point de vue quantitatif (ampleur des changements détectés) que qualitatif (nature des changements détectés) (Berberoglu et Akin, 2009).

Les distinctions effectuées entre les techniques varient selon les auteurs. De façon générale, on oppose les méthodes dites pré-classificatoires aux méthodes post-classificatoires (Mas, 2000 ; van Oort, 2007), de même que l'on oppose les méthodes analysant des séries temporelles d'images (multidates) aux méthodes dites diachroniques comparant des classifications effectuées indépendamment à différentes dates (Singh, 1989 ; Coppin *et al.*, 2004). Les méthodes pré-classificatoires regroupent les techniques permettant de détecter les changements avant de les caractériser, tandis que les méthodes post-classificatoires procèdent à la classification individuelle des images avant de détecter les changements. Dans tous les cas, il n'existe pas de méthode universelle de détection du changement, et la méthode retenue est étroitement dépendante des données disponibles et des objectifs de l'étude (Mas, 2000).

Les méthodes pré-classificatoires consistent à mettre en valeur les différences radiométriques entre deux ou plusieurs images acquises à des dates différentes. Les changements d'occupation des sols sont donc détectés en créant une image composite à partir de deux ou plusieurs images d'un même secteur d'étude. Les algorithmes et les méthodologies employés pour traiter les images et mettre en évidence les changements sont variés : régression d'images, différence / soustraction d'images, analyse en composante principales, analyse par vecteur de changement, détection non supervisée des changements, photo-interprétation, utilisation de données exogènes aux images, etc. (Lu *et*

al., 2003 ; Jensen, 2005 ; Mas, 2000 ; Coppin *et al.*, 2004). Ce type de méthodes nécessite une importante phase de prétraitement des images employées (corrections radiométriques et géométriques). Cette phase de prétraitement peut être longue et fastidieuse, et conditionne la qualité des résultats obtenus (Lecerf, 2008). Les images utilisées doivent de préférence avoir la même résolution spatiale et spectrale, et même si possible avoir été acquises par le même capteur à des dates anniversaires (Lu *et al.*, 2003). Une des principales limites de ce type d'approche est la difficulté d'interprétation de la nature des changements mis en évidence (Mas, 2000).

La méthode dite post-classificatoire consiste à comparer des images d'une même scène à des dates différentes classées indépendamment (Jensen, 2005 ; Mas, 2000). C'est la méthode la plus couramment employée pour la mise en évidence des changements d'occupation des sols, car elle présente l'avantage d'être plus simple à comprendre et à mettre en œuvre que les méthodes pré-classificatoires (Jensen, 2005). Les avantages de cette méthode sont nombreux. La comparaison de l'occupation des sols entre deux dates ne nécessite pas de disposer impérativement d'images à des dates différentes. Elle peut être effectuée à partir d'une carte thématique déjà établie (Lu *et al.*, 2003 ; van Oort, 2007). En outre les différentes classifications peuvent être obtenues à partir de données et de techniques hétérogènes (photographies aériennes, images satellitaires, classification automatique, photo-interprétation, etc.). Avec ce type d'approche, le risque d'erreur lié aux décalages radiométriques et environnementaux entre deux ou plusieurs images est minimisé. L'approche post-classificatoire s'appuyant sur une matrice de changement (Jensen, 2005 ; Coppin *et al.*, 2004), l'identification de la nature des changements est simple puisqu'on dispose de la classe de départ et de la classe d'arrivée des zones ayant subi un changement. Toutefois la méthode présente également des limites, notamment en termes de qualité des informations produites qui dépend directement de celle des données en entrée (Mas, 2000). Les classifications utilisées en entrée doivent par conséquent être les plus exactes possibles pour limiter le risque d'erreur dans la carte des changements (Lu *et al.*, 2003 ; Jensen, 2005 ; Mas, 2000).

La méthode retenue dans le cadre de notre étude est de type post-classificatoire. Ce choix s'est imposé d'emblée car un de nos objectifs était d'estimer les potentialités de données hétérogènes pour évaluer les changements d'occupation des sols et du fait de l'utilisation de l'IPLI-77 comme référence historique. En outre l'approche post-classificatoire permet de croiser deux jeux de données produits avec des méthodologies différentes, ce qui est le cas ici (les données de l'IPLI-77 ont été produites par photo-interprétation, puis digitalisées, tandis que les données de 2003 ont été produites par classification orientée-objet).

La production de la couche d'informations relative aux changements d'occupation des sols s'est déroulée en trois étapes successives : harmonisation et simplification des typologies IPLI et SPOT 5 et élaboration d'une matrice des changements, fusion des deux couches d'information et recodage des changements identifiés, et validation des résultats (figure 56). En termes de production diffusable, le résultat est une carte des changements d'occupation des sols de la zone côtière du Pays de Brest au 1/25 000.

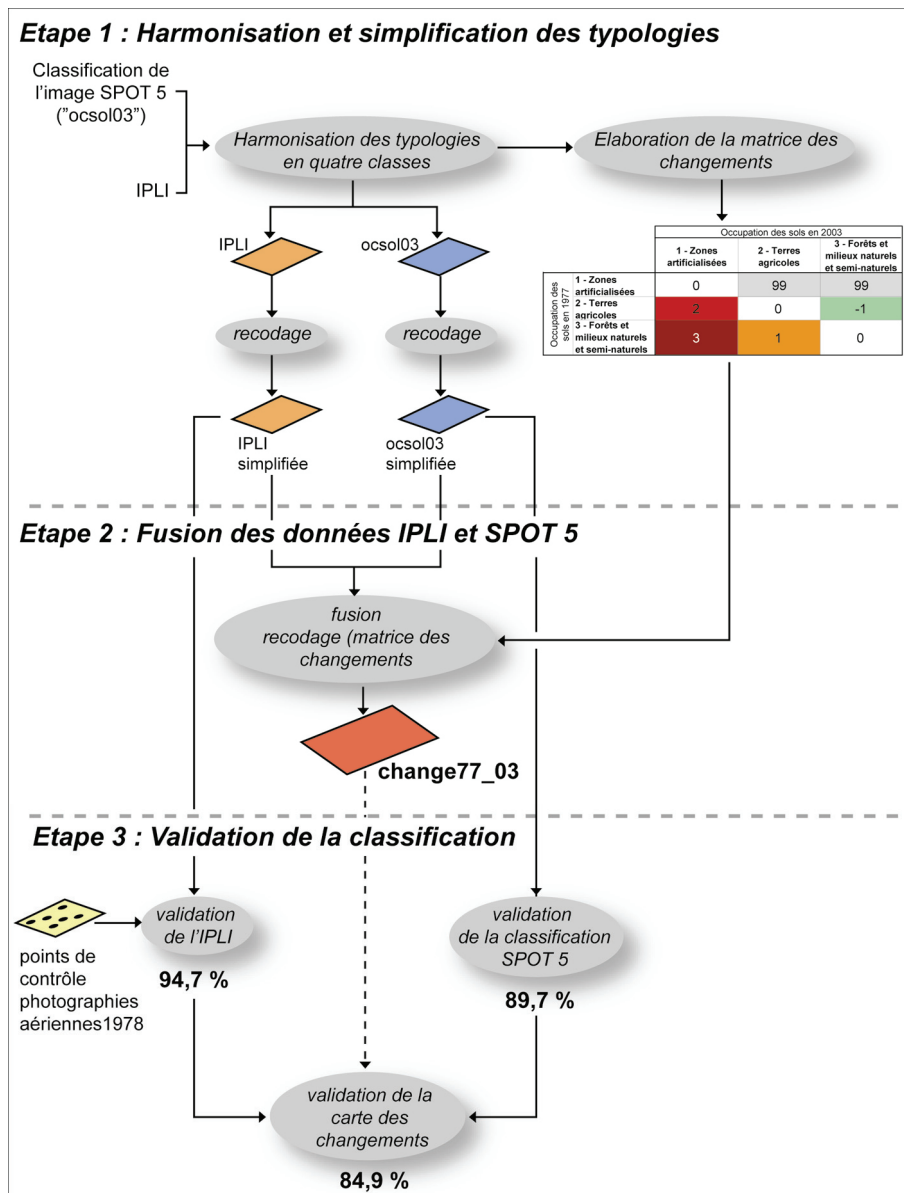


Figure 56 : Organigramme méthodologique pour le croisement des données IPLI et SPOT 5.

3.2. Définition d'une matrice des changements

3.2.1. Harmonisation des typologies IPLI et SPOT 5

La typologie de la classification de l'image SPOT 5 a été établie en respectant la typologie de l'IPLI dans la mesure du possible. Il existe toutefois de nombreux décalages sémantiques entre les classes du fait des différentes méthodes employées pour la création de ces deux jeux de données (photo-interprétation et classification orientée-objet). De ce fait toutes les classes de l'IPLI n'ont pas été retenues dans la typologie établie pour la classification de SPOT 5. Les classes ambiguës telles que « tissu mixte » ou « espace en mutation » ont été écartées. Les deux jeux de données ne sont donc pas comparables *a priori*, d'où la nécessité de procéder à une harmonisation des typologies pour confronter les données entre elles, avec le minimum d'erreurs possibles.

Cette harmonisation a consisté à résumer les typologies IPLI et SPOT 5 en une typologie simple et commune aux deux jeux de données, décrivant l'occupation des sols du Pays de Brest en 1977 et 2003 en quatre classes. Ce choix découle de deux constats :

- le but initial de notre démarche est d'identifier et de localiser les principales tendances en termes de changements survenus dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003 (artificialisation des terres, abandon de terres agricoles...). Une matrice de changements trop complexe aurait nui à une bonne compréhension et à la lisibilité des résultats obtenus après croisement des deux jeux de données.
- La qualité des données de changements issue d'une méthode post-classificatoire est liée à la qualité de chacune des classifications en entrée (Mas, 2000). Nous avons donc choisi de simplifier les données en entrée afin de réduire au maximum les erreurs induites par le croisement des deux jeux de données. Il nous a semblé préférable d'obtenir des données de bonne qualité mais peu détaillée plutôt que des données très détaillées mais dont la qualité, et donc la fiabilité, est faible.

Le tableau 20 résume la façon dont ont été regroupées les classes de l'IPLI et de la classification de SPOT 5.

		IPLI		SPOT 5	
Code	Description	Code	Description	Code	Description
1	Zones artificialisées	11	Ensemble habitat collectif	111	Tissu urbain dense
		12	Ensemble habitat individuel groupé	112	Tissu urbain discontinu
		13	Habitat individuel diffus	113	Tissu semi urbain
		10	Habitat dispersé récent		
		14	Tissu mixte		
		17	Habitat touristique spécifique		
		15	Zone industrielle et commerciale	121	Zone industrielle et commerciale
16	Emprise des grands équipements		Infrastructures, grands équipements		
		131	Équipements sportifs		
		141	Équipements de loisirs		
		142	Extraction de matériaux, décharges, chantiers		
		151			
2	Terres cultivées	20	Terres cultivées	211	Terres cultivées, prairies
		22	Prairies		
		21	Cultures légumières ou florales	212	Cultures hors-sol et sous serres
3	Forêt et milieux naturels et semi-naturels	29	Bois	311	Forêt de résineux
		28	Landes, maquis, garrigue	312	Forêt de feuillus ou mixte
				321	Lande
		26	Friches	331	Broussailles
		41	Zone humide	341	Zones humides intérieures
		23	Prairie humide	342	Prairies humides
		100	Dunes	411	Végétation littorale rase et végétation dunaire
		18	Espaces verts		
19	Camping et stationnement de caravanes				
27	Espace en mutation				
0	Autre	30	Rochers, falaises	412	Algues
		32	Plage	421	Estran sableux / vaseux
		40	Mer, plans d'eau	422	Falaises, roches nues
		43	Conchyliculture	511	Mer

Tableau 20 : Harmonisation des typologies IPLI et SPOT 5.

La simplification des typologies IPLI et SPOT 5 a été effectuée sur la base de la démarche employée pour la typologie emboîtée de CORINE Land Cover. Seuls trois grands types d'occupation des sols sont retenus, qui correspondent au niveau 1 de la typologie CLC : les zones artificialisées, les terres cultivées et les forêts et milieux naturels et semi-naturels. Les classes de l'IPLI et de la classification de SPOT 5 n'entrant pas dans l'une des trois catégories sont laissées de côté pour l'analyse des changements (classe « autre »). Nous n'avons pas retenu les classes « zone humide » et « surfaces en eau » de la typologie CLC du fait de la faiblesse des surfaces couvertes par ce type d'occupation des sols. Nous avons également choisi de ne pas créer de nouvelles classes pour éviter le risque de décalages sémantiques entre les deux classifications en entrée, et donc la propagation du risque d'erreur.

3.2.2. Elaboration de la matrice des changements

Cette matrice est un élément-clé de l'identification des changements mis en évidence avec des méthodes post-classificatoires. Elle s'obtient en comparant l'occupation des sols à un temps t1 avec l'occupation des sols à un temps t2. Elle permet de renseigner la nature des changements mis en évidence en créant des classes de type « passage de X à Y » (« from-to »). Une matrice des changements est élaborée pour caractériser les changements survenus dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 d'après les modèles proposés par Jensen (2005), Chen *et al.* (2005), Kayhkö *et al.*, (2011) (figure 57).

		Occupation des sols en 2003		
		1 - Zones artificialisées	2 - Terres agricoles	3 - Forêts et milieux naturels et semi-naturels
Occupation des sols en 1977	1 - Zones artificialisées	0	99	99
	2 - Terres agricoles	2	0	-1
	3 - Forêts et milieux naturels et semi-naturels	3	1	0

1	Premier niveau d'artificialisation Evolution d'une zone naturelle à une terre agricole (mise en culture)
2	Second niveau d'artificialisation Evolution d'une terre agricole à une zone artificialisée
3	Troisième niveau d'artificialisation Evolution d'une zone naturelle à une zone artificialisée
-1	Enfrichement / Déprise agricole Evolution d'une terre agricole à une zone naturelle
0	Absence de changement
99	Changements aberrants

Figure 57 : Matrice des changements utilisée pour identifier les principaux changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003.

Six catégories de changements sont identifiées : trois d'entre elles correspondent à une artificialisation des sols, une autre à une déprise agricole, une autre à une absence de changement d'occupation des sols, et enfin une dernière permet d'identifier les changements aberrants, du type « zone artificialisée en 1977 et terre agricole en 2003 ».

3.3. Croisement des couches d'information

Les deux jeux de données, IPLI et classification de SPOT 5, sont traités simultanément sous la forme de deux couvertures de polygones, « ipli » et « ocsol03 ». Avant de les fusionner, un nouvel attribut est créé pour chacune des couches et codé 1, 2, 3 ou 0 en fonction des correspondances établies entre l'IPLI et SPOT 5 (tableau 20). Le risque d'erreurs augmentant avec le nombre de classes thématiques de chacune des couches d'informations en entrée (Mas, 2000 ; Stow *et al.*, 1980), un codage préalable au croisement des données est réalisé.

Puis les deux couvertures sont fusionnées par une procédure géométrique d'intersection, (algèbre de carte) afin de créer une nouvelle couverture de polygones ayant pour limite spatiale l'emprise de l'IPLI tout en héritant des attributs des deux couvertures sources. Un nouvel attribut « change » est créé pour identifier les changements par le code spécifié dans la matrice des changements (figure 57). Cet attribut est renseigné par requêtes successives de type « corresp_ipli » = 2 and « corresp_spot » = 1 alors « change » = 2.

3.4. Validation de la qualité de l'information

Depuis une vingtaine d'années la question de la qualité des données produites par traitement d'image est devenue très importante (Congalton et Green, 2009 ; Lunetta *et al.*, 1991 ; Congalton, 2004 ; Congalton, 1991 ; Lunetta et Lyon, 2004). Lunetta *et al.* (1991) ont décrit la façon dont le risque d'erreurs se propage et se cumule tout au long du processus d'intégration de données hétérogènes dans un SIG. Les erreurs sont présentes à toutes les étapes du processus : acquisition des images, procédures de prétraitement, classification des images, transformation des données classées pour leur intégration dans un SIG, évaluation de la qualité des données.

Une des limites de la méthode post-classificatoire pour la mise en évidence des changements est sa grande sensibilité à la qualité des classifications utilisées en entrée (Mas, 2000 ; Stow *et al.*, 1980). Pour évaluer la qualité de l'information relative aux changements produite par croisement des données IPLI et SPOT 5, il est nécessaire d'estimer indépendamment la qualité de ces deux données. Si l'évaluation de la qualité de la classification de l'image SPOT 5 est une étape méthodologique du traitement de l'image, il n'existe pas de données sur la qualité de l'IPLI. Nous avons donc cherché dans un premier temps à estimer la qualité de cette donnée, avant d'estimer la qualité globale de l'information relative aux changements d'occupation des sols.

3.4.1. L'IPLI

En l'absence de données relatives à la qualité de l'inventaire IPLI-77, nous avons procédé à une évaluation de sa performance, en utilisant la même méthode que celle décrite précédemment pour la validation de la classification SPOT 5.

608 points de contrôle ont servi à évaluer la qualité de l'IPLI dont une partie des 920 points utilisés pour la validation de la classification de l'image SPOT 5. 20 à 50 points ont été retenus par classe en optant pour un échantillonnage aléatoire établi à partir d'une grille

régulière de points espacés de 2 km et complété par un échantillonnage stratifié pour les classes sous-estimées (Girard et Girard, 2004 ; Jensen, 2005).

L'attribut correspondant à l'occupation des sols a été recodé pour chaque point en fonction de la typologie de l'IPLI, en se basant sur un jeu de photographies aériennes IGN de 1978 à défaut de la mission d'origine et de données issues du terrain. Cette couche est ensuite intersectée avec l'IPLI-77, afin de les comparer. La formulation de requêtes croisées permet ensuite de recueillir les données alimentant une matrice de confusion (Jensen, 2005).

La qualité des classes « tissu mixte » et « espace en mutation » n'a pas été évaluée du fait de leur définition trop floue et de leur caractère « fourre-tout », de même que celle des classes « prairies » et « cultures hors sols et sous serres » très faiblement représentées.

3.4.2. Les changements d'occupation des sols

La qualité de la couche relative aux changements d'occupation des sols dépend de la précision de l'IPLI et de la classification de SPOT 5. Son évaluation pose des problèmes spécifiques du point de vue de l'échantillonnage. Il peut en effet être difficile de réunir un nombre statistiquement significatif d'échantillons dont l'occupation des sols a changé. Peu de travaux aboutissant à la production d'une information spatialisée relative aux changements d'occupation des sols procèdent à une évaluation qualitative (Congalton et Green, 2009 ; Mas, 2000 ; Yuan et Bauer, 2006). En ce qui nous concerne, nous avons procédé à l'estimation de la qualité de la carte des changements de l'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en effectuant le produit de la précision de chacune des classifications, selon le procédé décrit par Mas (2000) et Yuan et Bauer (2006).

3.5. Lissage cartographique de l'information

Afin de permettre une meilleure lecture des résultats du croisement des données de l'IPLI et de la classification de SPOT 5, les données de changements d'occupation des sols ont été lissées selon l'approche de la moyenne mobile spatiale (Plumejeaud *et al.*, 2009) couramment employée par l'INSEE⁸⁶. Cette technique géostatistique a pour effet de simplifier la lecture des données brutes, le but étant d'améliorer la qualité visuelle de la restitution des résultats, d'épurer les données analysées et de faciliter leur interprétation (Banos, 2001). Ce lissage est effectué en deux étapes : une première étape de carroyage, et une seconde étape de lissage par une moyenne mobile spatiale⁸⁷.

Après quelques tests empiriques, la zone côtière du Pays de Brest est découpée en 71 000 carreaux de 200 m de côté et d'une superficie de 4 km². La proportion de l'espace occupé par les différents types de changements d'occupation des sols est calculée pour chaque carreau. Ainsi, si dans un carreau de 4 km² l'espace occupé par un phénomène de déprise agricole est de 1,5 km², le ratio d'occupation du carreau par la déprise agricole est de 0,375.

86. http://insee.fr/fr/insee_regions/champagne-ardenne/themes/insee_dossier/periurbain/peri_diffsynt.pdf
http://www.insee.fr/fr/insee_regions/midi-pyrenees/themes/six_pages/6p_n115/methodo.pdf

87. La méthode de la moyenne mobile spatiale est un procédé de lissage de la carte dans lequel la valeur de la variable en chaque lieu est remplacé par la moyenne des valeurs voisines, pondérées de façon inversement proportionnelle à leur distance (Guermond, 1994).

Chaque type de changement d'occupation des sols décrit dans la matrice des changements est pris en compte successivement : mise en culture, déprise agricole, artificialisation au détriment des terres agricoles, artificialisation au détriment des zones naturelles, ainsi que l'ensemble des changements tout type confondu. Les résultats sont ensuite lissés à partir de ce maillage en utilisant l'outil « fenêtre mobile » du logiciel ArcGis. Les changements d'occupation des sols pour chaque carreau sont pris en compte, ainsi que ceux des carreaux voisins situés à moins de 1 km. Le poids de ces carreaux dans le calcul des changements d'occupation des sols lissé à partir du carreau central est inversement proportionnel à leur éloignement. Plus ils sont éloignés du carreau central et plus leur poids dans le résultat final est faible (figure 58).

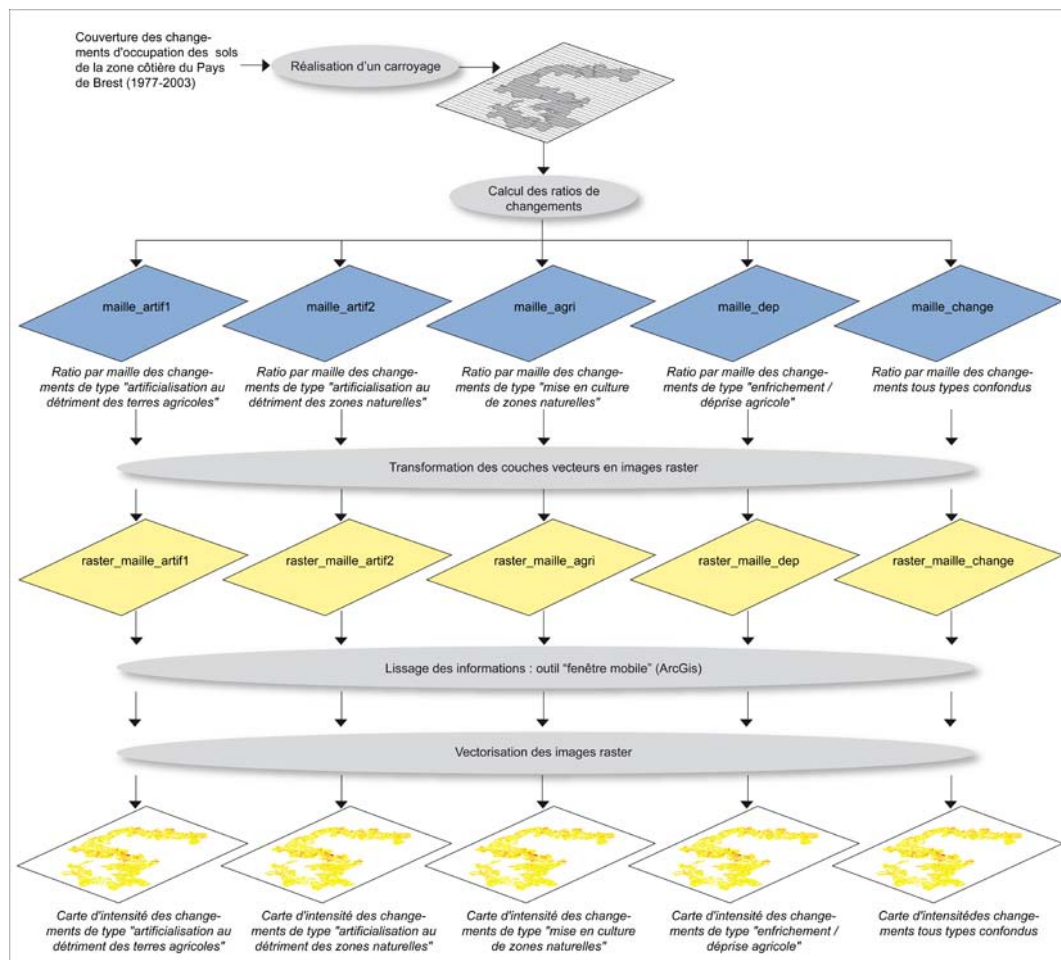


Figure 58 : Organigramme méthodologique pour le lissage cartographique des données de changements d'occupation des sols.

Ce lissage n'est effectué qu'à des fins de représentation cartographique.

Conclusion de la seconde partie

Depuis les années 1970, on observe une augmentation des pressions anthropiques sur l'ensemble du littoral français, avec un accroissement de 25 % du nombre de ses habitants. La densité de population sur les littoraux de France métropolitaine en 2006 est supérieure à la moyenne nationale (315 hab/km² dans les communes littorales contre 111 hab/km² pour la France entière). Cette situation se traduit concrètement par une augmentation de l'urbanisation et de l'artificialisation qui aboutit localement à de véritables phénomènes de « bétonisation » et de saturation foncière de la zone côtière terrestre, même si certains littoraux français semblent encore relativement préservés. Sur le littoral breton, les problématiques rencontrées sont sensiblement les mêmes qu'à l'échelle nationale. La densité de population est historiquement plus élevée sur les marges littorales de la région que dans son centre, et ce clivage tend à se conforter. En Bretagne le taux de constructions est renforcé par la préférence régionale pour l'habitat individuel, très consommateur d'espace. L'urbanisation pose en outre des problèmes de plus en plus marqués de tensions foncières et de mixités sociales. Cette attirance des populations pour les littoraux et l'urbanisation qui en résulte ont un impact direct sur l'occupation des sols, contribuant au recul des terres agricoles et des zones naturelles au profit des zones artificialisées (habitations, zones commerciales, routes, etc).

Le Pays de Brest est un territoire organisé autour de l'agglomération brestoise, qui concentre 37 % de sa population. Il est constitué d'une juxtaposition d'entités spatiales, dont les paysages et les caractéristiques fondent la diversité du territoire. Celui-ci peut se subdiviser en deux espaces distincts : au nord de la rivière Elorn, le plateau du Léon est un secteur marqué par une activité agricole importante, où les terres agricoles sont une composante majeure du paysage ; au sud de la rivière de l'Elorn la proportion des zones naturelles est plus forte qu'au nord (landes littorales, forêts), l'activité agricole est moins présente. Héritage d'une tradition historique, l'habitat dispersé tend à morceler le paysage, au nord comme au sud. Les communes littorales accueillent un nombre croissant d'habitants permanents, attirés par le cadre paysager et la qualité de vie, tandis que les Brestois quittent massivement la ville depuis plusieurs décennies au profit des communes proches. La lecture des documents du SCOT du Pays de Brest révèle la préoccupation des institutions vis-à-vis de la progression de l'urbanisation en périphérie des petites villes et bourgs existants et le long du linéaire côtier, et du mitage des paysages par l'urbanisation. Mais les constats et inquiétudes du SCOT ne reposent sur aucune information quantitative relative à la progression de l'artificialisation. Il manque à l'échelle du Pays de Brest des données spatialisées adaptées à l'évaluation objective de l'évolution de l'occupation des sols, de manière à comprendre ses causes.

Les données de l'inventaire européen de l'occupation des sols CORINE Land Cover sont disponibles à l'échelle du Pays de Brest. Elles décrivent l'occupation des sols à trois dates (1990, 2000 et 2006) ainsi que son évolution pour les périodes intermédiaires 1990-2000 et 2000-2006. Toutefois l'échelle de restitution des données est trop agrégée pour être adaptée à la taille et aux problématiques du Pays de Brest. A l'issue d'un inventaire des données disponibles relatives à l'occupation des sols dans le Pays de Brest, l'IPLI-77 s'est imposé comme référence historique dans notre analyse diachronique. Elle est en effet exploitable à

une échelle proche de celle utilisée en gestion locale des territoires (1/25 000) et est déjà structurée en couche vectorielle dans une base d'information géographique. Pour l'acquisition de données récentes, nous avons utilisé une image SPOT 5 (2003) qui a été soumise à une classification orientée-objet. Les potentialités de cette donnée avaient préalablement fait l'objet d'évaluation, et la résolution de l'image était optimale au vu de l'objectif et de l'échelle de restitution visés (1 / 25 000). La démarche orientée-objet offre des avantages considérables sur les classifications classiques pixel à pixel. L'analyse centrée sur l'objet limite, pour des images à haute et très haute résolutions, l'effet « poivre et sel » que l'on peut trouver avec une approche centrée sur le pixel. L'utilisateur est également maître des procédures de classification des objets grâce aux fonctions d'appartenance, contrairement à une classification supervisée basée sur le pixel où le processus de classification est inféodé aux parcelles d'entraînement.

L'utilisation de l'IPLI comme donnée de référence nous a amené à retenir la méthode post-classificatoire pour l'identification des changements d'occupation des sols. Les autres méthodes de détection des changements de type pré-classificatoire ou fonctionnant sur le principe de la fusion d'images supposent de disposer de deux images satellitaires de résolution comparable, et de préférence acquises avec le même capteur. Ces approches sont en outre privilégiées pour des suivis réguliers de type saisonnier sur des pas de temps courts, dans le cadre d'études d'évolution des couverts végétaux par exemple. La qualité des données en entrée (IPLI et classification SPOT 5) a préalablement été évaluée, puis les deux couches vectorielles ont fait l'objet d'une simplification et d'une harmonisation typologique. Les deux jeux de données ont été croisés selon une procédure géométrique d'intersection (algèbre de carte) avec le logiciel ArcGis. La procédure a permis d'identifier les principaux changements d'occupation des sols survenus entre 1977 et 2003 (artificialisation, mise en culture, déprise agricole et absence de changements).

TROISIEME PARTIE – RESULTATS

CHAPITRE 1 – QUALITE DE L'INFORMATION

Ce chapitre présente les résultats :

- de la classification orienté-objet de l'image SPOT 5 (2003) à trois niveaux de précision et l'estimation de leur qualité,
- De l'estimation de la qualité de l'IPLI (1977),
- Du croisement de la classification de l'image SPOT 5 (2003) et de l'IPLI (1977) et l'estimation de l'information produite.

1. Classification de l'image SPOT 5

Après l'élaboration d'une typologie décrivant l'occupation des sols à trois niveaux typologiques, l'image SPOT 5 (2003) a fait l'objet d'une classification orientée-objet multi-résolution. Les données produites ont été intégrées dans une BIG, et la qualité de la classification a été évaluée à l'aide de points de contrôle levés sur le terrain et sur des orthoimages (Sparfel *et al.*, 2008). Les résultats décrivent l'occupation des sols du Pays de Brest en 2003 à trois niveaux : le niveau 1 comporte 5 classes et décrit l'occupation des sols de façon très agrégée, le niveau 2 comporte 13 classes et correspond au niveau le plus fin de CLC en termes de résolution, le niveau 3 comporte 22 classes et correspond à la résolution de l'IPLI-77, soit approximativement une restitution cartographique à une échelle 1/25 000.

La qualité de la classification a été évaluée à l'aide de matrices de confusion. La performance globale de la classification et l'indice de Kappa ont été calculés aux trois niveaux typologiques (Girard et Girard, 2004 ; Congalton et Green, 2009).

1.1. Niveau 1

L'exploitation cartographique de la couche d'information issue de la classification orientée-objet de l'image SPOT 5 au niveau 1 est présentée figure 59.

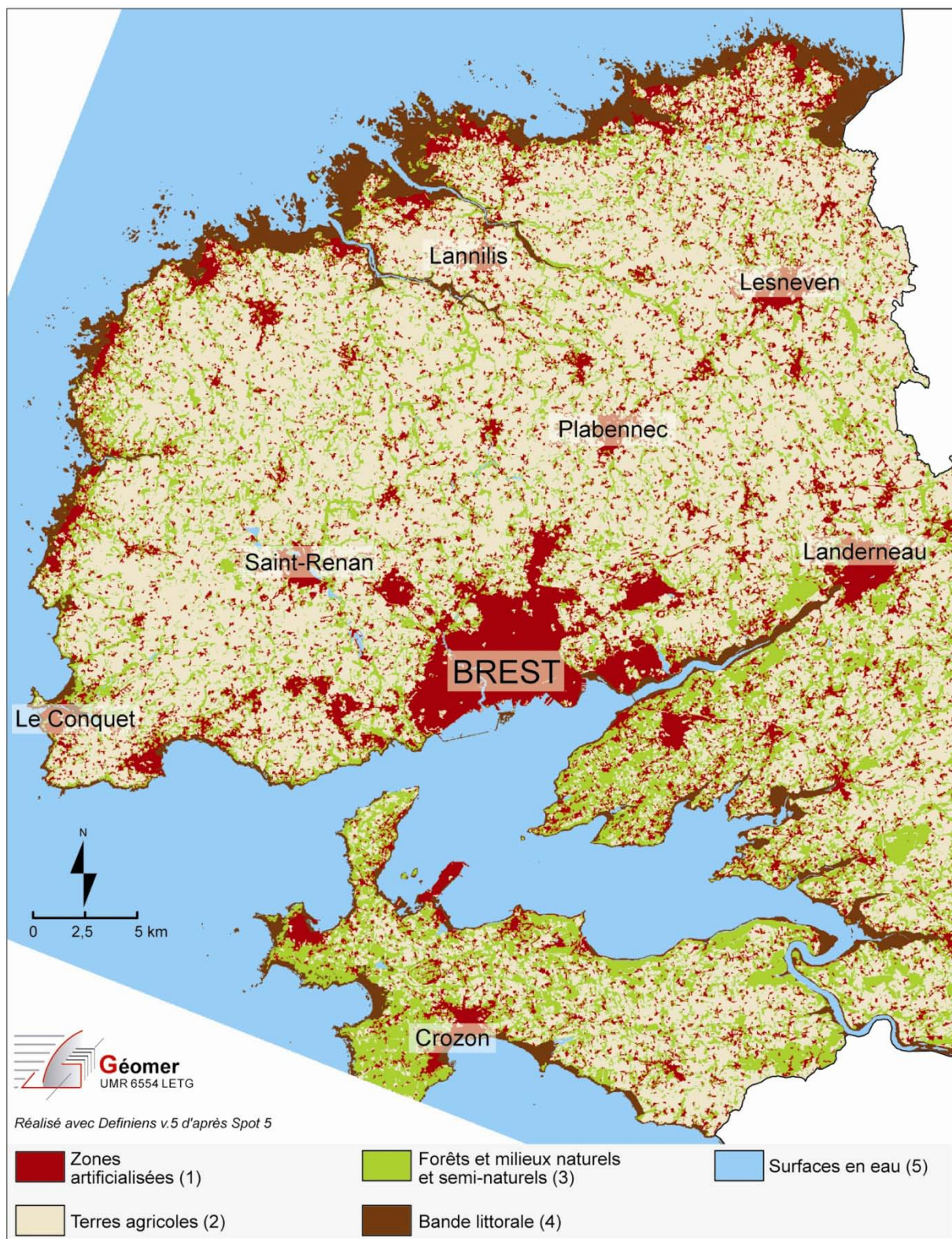


Figure 59 : Carte de l'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 1 à partir de la classification de SPOT 5.

Au niveau 1, la performance globale de la classification est de 88,6 %, avec un indice de Kappa de 0,85 (tableau 21).

		1	2	3	4	5	TOTAL	<i>Précision pour le réalisateur (%)</i>
Zones artificialisées	1	292	26	7			325	89,8
Terres agricoles	2	11	65	14			90	72,2
Forêts et milieux naturels	3	9	22	181	3		215	84,2
Bande littorale	4	1	1	7	189	2	200	94,5
Surfaces en eau	5				2	88	90	97,8
TOTAL		313	114	209	194	90	920	87,7
<i>Précision pour l'utilisateur (%)</i>		93,3	57,0	86,6	97,4	97,8	86,4	88,6

Précision totale : **88,6 %**

Indice de Kappa : **0,85**

Tableau 21 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 1.

Les résultats selon les types de milieux sont relativement homogènes. Ils dépassent 70 % de précision pour le producteur, avec cependant de meilleurs résultats pour les zones artificialisées, et des niveaux de précision pour le réalisateur et l'utilisateur supérieurs à 90 % pour la bande littorale et les surfaces en eau. Les résultats obtenus pour les terres agricoles sont plus faibles, avec seulement 72,2 % d'objets bien classés pour le réalisateur, et une précision pour l'utilisateur de seulement 57 %.

1.2. Niveau 2

Un extrait de la carte d'occupation des sols du Pays de Brest au niveau 2 est présenté figure 60.

.

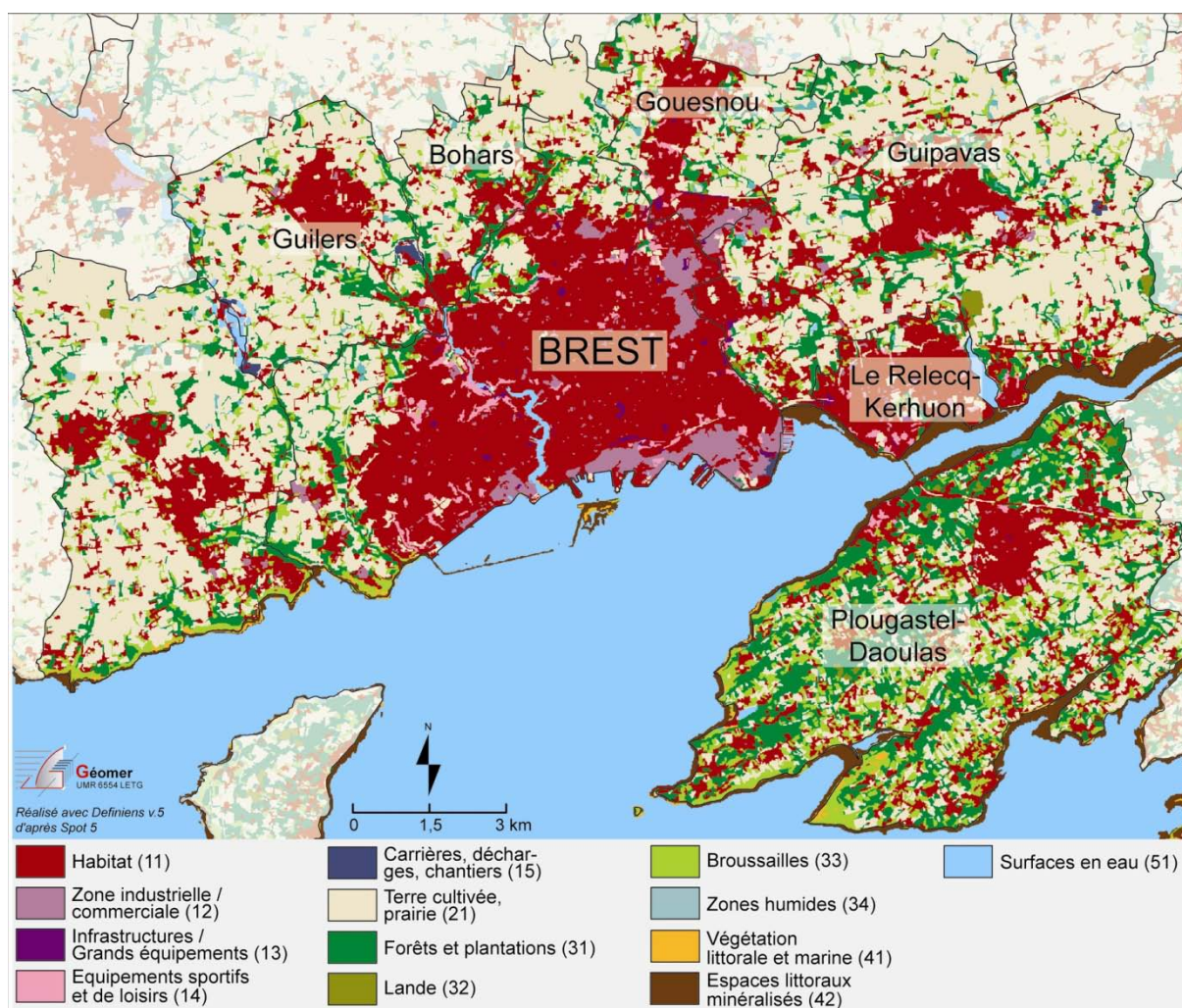


Figure 60 : Extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 2 à partir de la classification de SPOT 5.

La performance globale de la classification au niveau 2 est de 78,8 % avec un indice de Kappa de 0,76 (tableau 22).

		11	12	13	14	15	21	31	32	33	34	41	42	51	TOTAL	Précision pour le réalisateur (%)
Habitat	11	148					1			1					150	98,7
Zone industrielle et commerciale	12	6	39	2			3								50	78,0
Infrastructures, grands équipements	13	9	2	11			3								25	44,0
Equipements sportifs et de loisirs	14	17			35		12			6					70	50,0
Carrières, décharges, chantiers	15	4	6			13	7								30	43,3
Terres agricoles	21	4	1	1	3	2	65	9	1	3	1				90	72,2
Forêts et plantations	31	1		1	1		3	73	1	1	4				85	85,9
Lande	32						4		20		1				25	80,0
Broussailles	33	3					7	12	1	26	1				50	52,0
Zones humides	34	3					8	8	1	9	23	3			55	41,8
Végétation littorale et marine	41						1	1		5		90	3		100	90,0
Espaces littoraux minéralisés	42	1									1	2	94	2	100	94,0
Surfaces en eau	51												2	88	90	97,8
TOTAL		196	48	15	39	15	114	103	24	51	31	95	99	90	920	71,4
Précision pour l'utilisateur (%)		75,5	81,3	73,3	89,7	86,7	57,0	70,9	83,3	51,0	74,2	94,7	94,9	97,8	79,2	78,8

Précision totale : 78,8 %

Indice de Kappa : 0,76

Tableau 22 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 2.

Par rapport au niveau 1, il existe au niveau 2 de plus grandes disparités en termes de qualité ; certaines classes obtenant de mauvais résultats. C'est le cas des « infrastructures, grands équipements » (44 % d'objets bien classés) qui se confondent avec les objets des classes « habitat », « zone industrielle et commerciale » et « terres agricoles ». Les « zones humides » (41,8 % d'objets bien classés) présentent des confusions avec les « terres agricoles », les « forêts et plantations » et les « broussailles ». Les « carrières, décharges, chantiers » sont également assez mal classées, avec une performance globale de seulement 43,3 % ; les confusions avec les classes « habitat », « zone industrielle et commerciale » et « terres agricoles » étant nombreuses. Les « équipements sportifs et de loisirs » et les « broussailles » ne comptent que de 50 à 60 % d'objets bien classés. Les « zones industrielles / commerciales » (78 %) et les « terres cultivées, prairies » (72,2 %) sont également en dessous du seuil des 80 %. Seuls les résultats obtenus pour les objets littoraux (entre 90 % et 94 %) et pour l'« habitat » (98,7 % d'objets bien classés) sont excellents.

1.3. Niveau 3

Un extrait de la carte d'occupation des sols du Pays de Brest au niveau 3 est présenté figure 61.

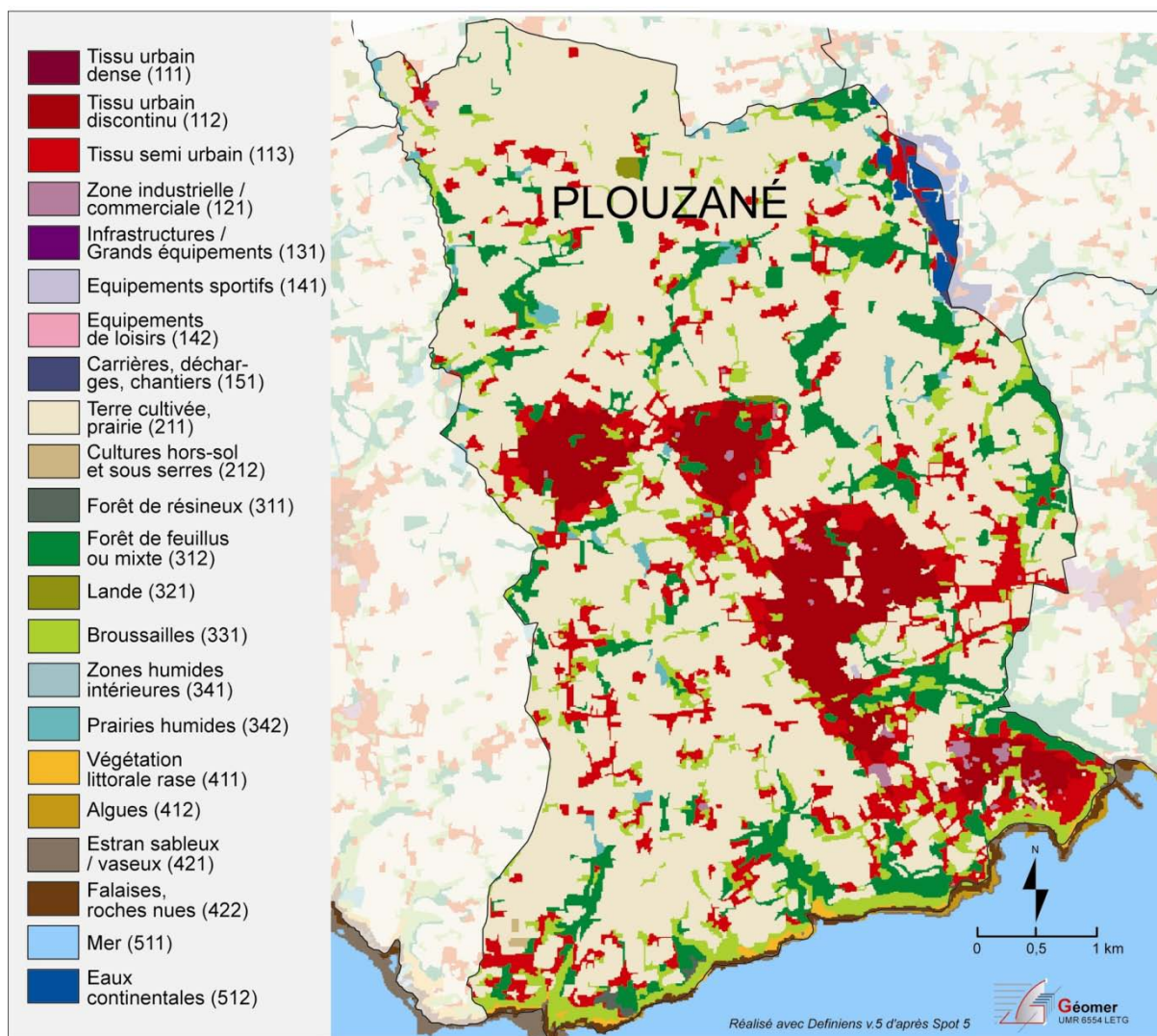


Figure 61 : Extrait de la carte d'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 3 à partir de la classification de SPOT 5.

La performance globale de la classification au niveau 3 est de 75,3 % avec un indice de Kappa de 0,74 (tableau 23).

	111	112	113	121	131	141	142	151	211	212	311	312	321	331	341	342	411	412	421	422	511	512	TOTAL	Précision pour le réalisateur	
Tissu urbain dense	111	45	4	1																			50	90,0	
Tissu urbain discontinu	112		47	3																			50	94,0	
Tissu semi urbain	113			48					1					1									50	96,0	
Zone industrielle et commerciale	121		4	2	39	2			3														50	78,0	
Infrastructures, grands équipements	131	2	6	1	2	11			3														25	44,0	
Equipements sportifs	141		7	1			16		11						5								40	40,0	
Equipements de loisirs	142	2	5	2			1	18		1				1									30	60,0	
Carrières, décharges, chantiers	151		1	3	6				13	7													30	43,3	
Terres cultivées, prairies	211					1	1		2	45	3		3	1	3		1						60	75,0	
Cultures hors sol et sous serres	212		1	3	1			2		5	12		6										30	40,0	
Forêt de résineux	311						1				22	7	1			4							35	62,9	
Forêts de feuillus ou mixte	312			1		1			3		2	42		1									50	84,0	
Lande	321								4				20		1								25	80,0	
Broussailles	331			3					7			12	1	26		1							50	52,0	
Zones humides intérieures	341			3					5			2	1	4	7		2			1			25	28,0	
Prairies humides	342								3			6		5		16							30	53,3	
Végétation littorale rase	411								1		1						42				1		50	84,0	
Algues	412																	48	2				50	96,0	
Estran sableux / vaseux	421			1											1		1		45	2			50	90,0	
Falaises, roches nues	422																	1	3	44	1	1	50	88,0	
Mer	511																			1	49		50	98,0	
Eaux continentales	512																			1		38	40	95,0	
TOTAL		49	75	72	48	15	18	21	15	99	15	25	78	24	51	13	18	45	49	52	48	51	39	920	71,4
Précision pour l'utilisateur (%)		91,8	62,7	66,7	81,3	73,3	88,9	85,7	86,7	45,5	80,0	88,0	53,8	83,3	51,0	53,8	88,9	93,3	98,0	86,5	91,7	96,1	97,4	78,4	75,3
Précision totale : 75,3 %																									
Indice de Kappa : 0.74																									

Tableau 23 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 3.

En termes de qualité, les disparités constatées au niveau 2 s'accroissent au niveau 3. Les « zones humides intérieures » obtiennent les plus mauvais résultats (28 % d'objets bien classés) ; les confusions avec les objets classés en « terres cultivées, prairies » et en « broussailles » étant nombreuses. D'autres objets mal classés apparaissent : « cultures hors-sol et sous serres » (40 % de précision pour le réalisateur), « prairies humides » (53,3 % de précision pour le réalisateur), et « forêts de résineux » (62,9 % de précision pour le réalisateur). Ces trois classes présentent des confusions importantes avec les classes « forêt de feuillus ou mixte » et « terres cultivées, prairies ». Pour les objets relatifs aux zones artificialisées, les résultats sont inégaux, avec de très bonnes performances pour l'habitat (90 % pour le « tissu urbain dense », 94 % pour le « tissu urbain discontinu », et 96 % pour le « tissu semi urbain »), mais des confusions dans l'identification des autres objets classés en « équipements sportifs » (40 %), « équipements de loisirs » (60 %), « carrières, décharges, chantiers » (43,3 %), « infrastructures, grands équipements » (44 %).

1.4. Discussion

1.4.1. Interprétation des différents types d'objets

On remarque classiquement une diminution de la qualité de la classification avec la précision typologique de l'occupation des sols. Si les résultats obtenus pour le niveau 1 (88,6 %) sont au dessus du seuil recommandé de 85 % de pixels bien classés pour une classification acceptable (Foody, 2002), ils passent en dessous de ce seuil aux niveaux 2 (78,8 %) et 3 (75,3 %). Ces résultats globaux masquent cependant des disparités importantes entre les classes. Les classes « broussailles » et « cultures hors sols et sous serres » au niveau 3 sont relativement mal classées. Les mauvais résultats de la classe « broussailles » sont probablement liés à la date d'acquisition de l'image (avril) qui ne correspond pas aux conditions optimales pour la détection de la végétation (Girard et Blasco, 1996). Plusieurs images acquises à différentes dates auraient sans doute permis de discriminer plus

aisément broussailles et terres cultivées au niveau 3 (Girard et Girard, 2004) et d'améliorer les résultats de la classification des zones humides d'autant que la date d'acquisition de l'image traitée coïncidait avec une période de déficit pluviométrique intervenue dans le Finistère entre janvier et mai 2003.

De plus, (Smith *et al.*, 2003) ont montré que l'hétérogénéité de la structure paysagère est susceptible d'avoir un impact défavorable sur la qualité de la classification. Or l'espace considéré dans cette étude présente une forte hétérogénéité liée non seulement à la topographie (plateau entaillé de vallons) mais aussi à la dispersion de l'habitat encore accentuée par l'évolution urbaine récente. *A contrario*, les bons résultats des classes littorales justifient l'utilisation d'une couche thématique pour la discrimination de classes porteuses de confusions. En effet, des tests préliminaires révélaient d'importantes confusions entre certaines classes, comme par exemple entre les estrans sableux et certains territoires artificialisés. L'hétérogénéité paysagère de la zone littorale augmentait également les risques de confusions. Le recours à la couche thématique « bande littorale » a permis de traiter cet espace complexe indépendamment du reste de l'image, et donc d'améliorer les performances de la classification. Enfin, les très bons résultats des classes « tissu urbain dense », « tissu urbain discontinu » et « tissu semi-urbain » confirment l'intérêt de la segmentation multi-résolution et le recours à des règles de classification basées sur une analyse multi-échelle des densités de bâti pour l'identification des objets urbains (Puissant *et al.*, 2006).

1.4.2. Performances des classifications de l'occupation des sols

Si l'on compare les résultats obtenus avec ceux acquis dans le cadre d'autres études relatives à l'occupation ou à l'utilisation des sols par traitement d'images satellitaires, il apparaît que les performances globales des classifications sont sensiblement les mêmes (tableau 24).

Auteur(s)	Secteur d'étude	Type d'image	Résolution spatiale	Objectifs de la classification	Nbr de classes	Méthode de classification	Performance globale	Commentaires des résultats
Willhauck, 2000	Amérique du Sud zone d'étude 500 km ²	SPOT multispectral 1995	20 m	Identification de deux espèces de hêtre au sein d'une forêt.	4	basée sur le pixel	90,90%	Très bons résultats avec les deux méthodes Résultats très proches Typologie simple
						orientée-objet	94,5%	Résultats homogènes avec la méthode orientée-objet "eau" = 100 % "espèce 2" = 87 %
Kressler et al., 2003	Vienne, Autriche zone d'étude 56 km ²	KOMPSAT-1 juillet 2002	6,6 m	Description simple de l'occupation des sols.	5	orientée-objet	89,9%	Résultats homogènes pour les deux images (sauf pour "urbain") "forêt" = 96 % (Kompsat) "agriculture" = 63 % (Kompsat) "forêt" = 93 % (SPOT 5) "urbain" = 57 % (SPOT 5)
		SPOT 5 août 2002	2,5 m			orientée-objet	86,3%	
Flanders et al., 2003	Colombie Britannique, Canada zone d'étude 943 km ²	Landsat 7 ETM+ 17 avril 2000	30 m	Identification de coupes à éclaircies dans les massifs forestiers de Colombie Britannique.	extrait 1 : 6	basée sur le pixel orientée-objet	Extrait 1 56,7% 70%	Meilleurs résultats avec l'approche orientée-objet Extrait 1 : résultats très hétérogènes avec la méthode orientée-objet "eau" = 91 % "sols nus" = 0%
		2 extraits d'une même scène			extrait 2 : 4	basée sur le pixel orientée-objet	80,5% 91%	Extrait 2 : résultats assez homogènes avec la méthode orientée-objet "eau" = 96 % "coupes d'éclaircies récentes" = 71 %
van der Sande et al., 2003	Maastricht, Pays-Bas zone d'étude 16 km ²	IKONOS-2 6 mai 2000	1 m	Description de l'occupation des sols en 3 niveaux de précision	Niveau 1 : 5 Niveau 2 : 11 Niveau 3 : 17	orientée-objet	74%	Résultat global correct Résultats très hétérogènes "pâturage" = 97 % "végétation naturelle" = 11 % Confusions entre certaines classes
Corbane et al., 2004	Liban zone d'étude 200 km ²	ASTER 21 mars 2001	MIR : 30 m IR thermique : 90 m	Description de l'occupation des sols d'un bassin versant	14	basée sur le pixel orientée-objet	74,3% 87,3%	Meilleurs résultats avec l'approche orientée-objet. Meilleurs résultats pour l'image ASTER que pour l'image Landsat. La résolution plus fine de l'image ASTER permet une meilleure discrimination de la végétation.
		Landsat 7 ETM+ 15 mai 2001	MIR : 30 m IR thermique : 60 m Panchro : 15 m			basée sur le pixel orientée-objet	63,8% 71,9%	Résultats hétérogènes avec la méthode orientée-objet "tissu urbain continu" = 100 % (ASTER) "sol nu blanc" = 34,5 % (ASTER) "eau" = 99,7 % "sol cultivé 2" = 18 % (Landsat)
Lewinski, 2005	Varsovie, Pologne zone d'étude 795 km ²	ASTER 4 mai 2002	15 m	Description de l'occupation des sols en 2 niveaux de précision	19	orientée-objet	86,3%	Résultat global très bon Résultats assez hétérogènes "parcs urbains et ruraux" = 100 % "zones humides intérieures" = 36 %
Chubey, et al., 2006	Alberta, Canada zone d'étude 77 km ²	IKONOS-2 15 août 2001	Panchro : 1 m Multispectral : 4 m	Description de la végétation (inventaire forestier)	8	orientée-objet	93%	Très bons résultats Résultats très homogènes (toutes les classes > 80 %) Méthode orientée-objet adaptée à un inventaire forestier "sable" = 100 % "épicea" = 81 %
Lucas et al., 2007	Pays de Galles, R-U zone d'étude 680 km ²	Landsat 7 ETM+ 4 dates de juillet 2001 à sept. 2002	30 m	Description des habitats semi-naturels et des terres agricoles	11	orientée-objet	84,9%	Résultat global très bon Résultats assez hétérogènes "forêt de conifères" = 100 % "lande sèche" = 48 %
Lucas et al., 2011	Pays de Galles, R-U	SPOT 5, ASTER, IRS Liss-3, photo. aériennes, données annexes 16 dates de 2003 à 2006	10 à 30 m selon les images satellitaires 0,4 m pour les photos	Description des habitats semi-naturels et des terres agricoles	19	règles de décision et orienté-objet	80,70%	Résultat global très bon Résultats hétérogènes "terres labourées" et "sols nus" = 100 % "prairie partiellement exploitée" = 34,1 %

Les pourcentages en italiques correspondant respectivement au meilleur et au plus mauvais résultat de la classification (en terme de précision pour le réalisateur).

Tableau 24 : Exemples d'études utilisant la méthode orientée-objet.

Pour sa classification en 19 classes d'utilisation des sols de la région de Varsovie, Lewinsky (2005) obtient une performance globale de 86,3 %, en appliquant la méthode « plus proches voisins » et fonctions d'appartenance. Van der Sande *et al.* (2003) ont utilisé le même type d'approche mixte et parviennent à une performance globale de 74 % pour une classification de l'occupation des sols en 17 classes. Corbane *et al.* (2004) obtiennent une précision de 87,3 % pour la classification en 14 classes d'une image ASTER. Lucas *et al.* (2007)

obtiennent un résultat global de 84,9 % pour une classification de la végétation et des cultures en 11 classes, fondée sur la formulation et l'implémentation de règles de connaissances. Enfin Lucas *et al.* (2011) parviennent à une performance globale de 80,7 % avec une classification en 19 classes reposant sur l'utilisation d'images et de données multisources. Dans tous les cas, les disparités entre les classes sont notables. Corbane *et al.* (2004) parviennent à une précision de 100 % pour la classe « tissu urbain continu », mais de 34,5 % pour la classe « sol nu blanc ». Il en va de même pour Lucas *et al.* (2007) et Lucas *et al.* (2011). Pour des classifications d'objets spécifiques, ou d'un nombre de classes inférieur à 10, les résultats sont généralement meilleurs. Willhauck (2000), Kressler *et al.* (2003), Flanders *et al.* (2003), Chubey *et al.* (2006) obtiennent des performances globales supérieures à 90 %, avec des typologies comprenant quatre à huit classes.

1.4.3. Comparaison des résultats obtenus avec d'autres données relatives à l'occupation des sols du Pays de Brest

Nos résultats ont été comparés avec la classification d'une image Landsat TM de 2005 réalisée dans le cadre de l'étude de l'évolution de la tâche urbaine dans le Finistère entre 1984 et 2005 (Dusseux *et al.*, 2009). L'objectif de cette comparaison est de mettre en évidence les avantages et les faiblesses de la classification SPOT 5 au regard de données jugées équivalentes.

Les comparaisons sont effectuées à partir de la typologie en quatre classes retenue pour la classification de l'image Landsat : (1) Zones artificialisées, (2) Terres agricoles, (3) Forêts et milieux naturels et semi-naturels, (4) Surfaces en eau (Dusseux *et al.*, 2009). Pour permettre la comparaison des données, les typologies ont été harmonisées, et les classes « Forêts et milieux naturels et semi-naturels » et « Bande littorale » de la typologie SPOT 5 (2003) au niveau 1 ont été réunies en une seule classe intitulée « Forêts et milieux naturels et semi-naturels ». Les données comparées décrivent donc l'occupation des sols en quatre classes à deux années différentes : 2003 pour la classification SPOT 5 et 2005 pour la classification Landsat. L'emprise spatiale des données comparées sont les limites administratives du Pays de Brest auxquelles ont été soustraites les parties tronquées sur l'image SPOT 5 (Cap de la Chèvre, partie est du Pays de Brest, archipel de Molène).

La faible amplitude des changements d'occupation des sols dans le Pays de Brest sur un pas de temps de deux ans nous autorisent à effectuer ces comparaisons. Elles révèlent des disparités importantes dans la façon dont se répartissent les principaux types d'occupation des sols en fonction des jeux de données considérés (figure 62).

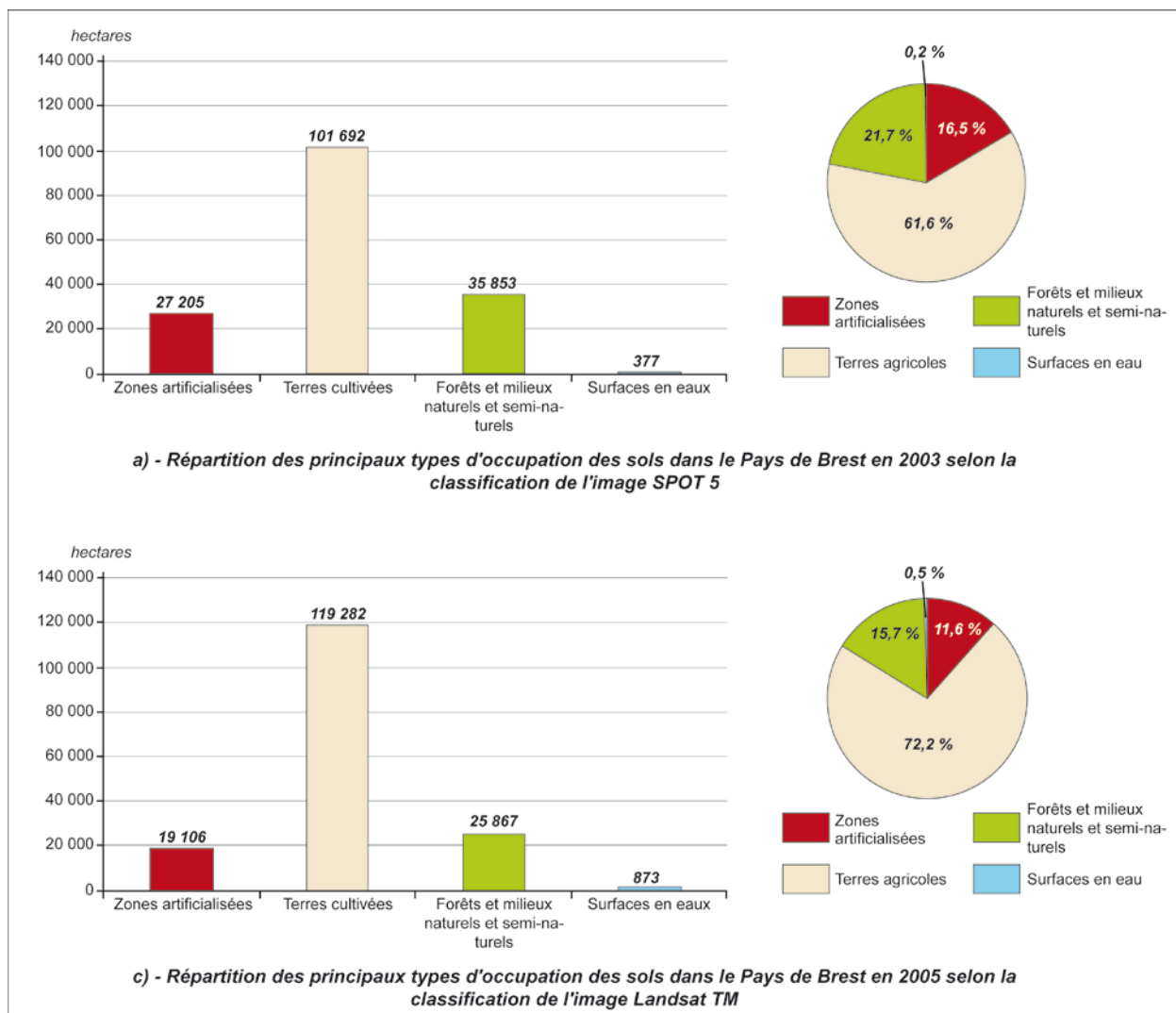


Figure 62 : Comparaison de l'occupation des sols dans le Pays de Brest obtenue avec les données SPOT 5 (2003) et Landsat (2005) (Dusseux *et al.*, 2009).

La proportion des terres agricoles calculée d'après les informations déduites de SPOT 5 (61,6 %) est inférieure à celle calculée à partir des informations extraites de Landsat TM (72,2 %). Nous avons constaté que la qualité de la classe « terres agricoles » avec la classification de l'image SPOT 5 était moyenne (72 % d'objets bien classés), du fait entre autre d'une mauvaise discrimination des classes « broussailles » et « terres cultivées » au niveau 3. Le décalage entre les résultats obtenus pourrait donc s'expliquer par une sous-estimation de la proportion des terres agricoles avec les données issues de la classification de l'image SPOT 5.

La proportion des zones artificialisées extraites de l'image SPOT 5 (2003) est supérieure (16,5 %) à celle obtenue (11,6 %) par la classification de l'image Landsat TM (2005). Nous avons précédemment vu que la qualité de la classification SPOT 5 pour la classe « zones artificialisées » au niveau 1 était satisfaisante, avec 89,8 % d'objets bien classés. La précision des données obtenues par classification de l'image Landsat TM est également très satisfaisante (supérieure à 95 %) (Dusseux *et al.*, 2009). Si les données produites à partir de l'image SPOT 5 sont *a priori* moins fiables que celles produites à partir de l'image Landsat,

les différences obtenues dans les résultats des deux classifications sont difficilement imputables à la qualité des données. Par conséquent on peut en déduire que les différences constatées sont partiellement liées à la résolution plus fine de SPOT 5 (10 m) par rapport à celle de Landsat TM (30 m) qui permet de détecter un plus grand nombre d'objets de petites tailles appartenant à la classe « zones artificialisées ». Sur le terrain, ces objets correspondent à des bâtiments agricoles et aux habitations isolées, caractéristiques de l'habitat dispersé du bocage du Pays de Brest. La production de restitutions cartographiques à l'échelle 1/25 000 à partir de l'image SPOT 5 semble donc pertinente pour l'identification des zones artificialisées isolées dans un contexte de dispersion importante de l'habitat.

2. Les données de l'IPLI

La qualité des données de l'IPLI-77 a été évaluée selon une méthode similaire à celle retenue pour l'évaluation de la qualité de la classification de l'image SPOT 5 (2003). 608 points de validation levés à partir de photographies aériennes de 1978 ont alimenté une matrice de confusion pour produire une évaluation quantitative de la qualité des classes de l'IPLI.

2.1. Qualité globale de l'IPLI

La carte d'occupation des sols de la zone littorale du Pays de Brest réalisée à partir des données IPLI-77 est présentée figure 63.

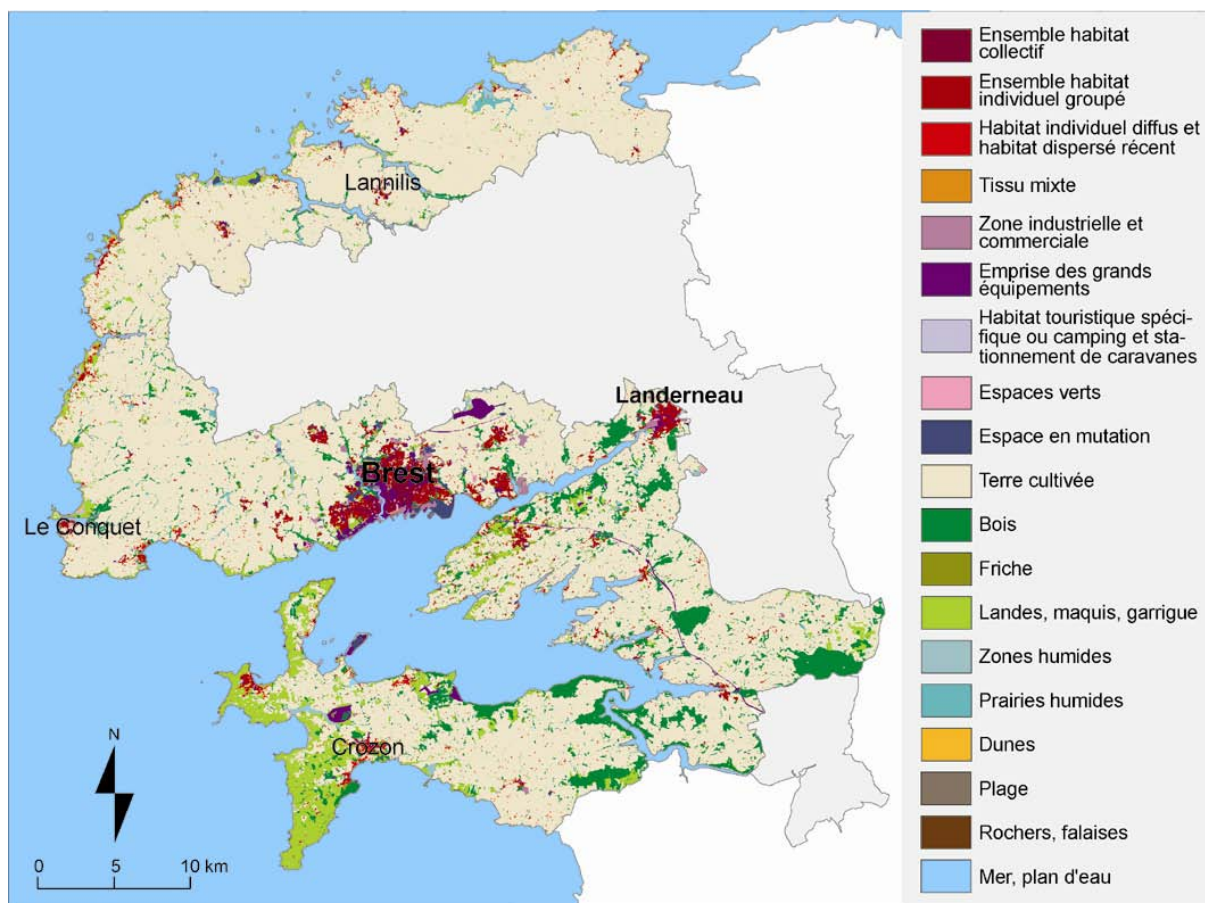


Figure 63 : Carte de l'occupation des sols du Pays de Brest en 1977 à partir des données de l'IPLI.

Les performances de l'IPLI ont été évaluées en utilisant une matrice de confusion et des points de validation obtenus par photo-interprétation des clichés datant de 1978. Les classes « tissu mixte », « espace en mutation », « prairies » et « cultures hors-sol et sous-serres » n'ont pas été évaluées du fait d'une définition trop aléatoire ou du peu d'objets représentés (cf. p.119).

La performance globale de l'IPLI-77 est de 82,9 %, avec un indice de Kappa de 0,83 (tableau 25).

		10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	23	26	28	29	30	32	40	41	100	TOTAL	Précision pour le réalisateur
Habitat dispersé récent	10	19																			19	100
Ensemble habitat collectif	11		41	2			2	1													46	89,1
Ensemble habitat individuel groupé	12			19	3																22	86,4
Habitat individuel diffus	13		1	4	17			1		9											32	53,1
Zone industrielle et commerciale	15					43															43	100
Emprise des grands équipements	16						43	1													44	97,7
Habitat touristique spécifique	17							11													11	100
Espaces verts	18								12												12	100
Campings	19									14				2	1						17	82,4
Terre cultivée	20	1									96	1	2	3							103	93,2
Prairie humide	23										10	15	6		1				5		37	40,5
Friche	26										2		10	5	4				1		22	45,5
Lande, maquis, garrigue	28	1									2		3	41						1	46	89,1
Bois	29														37						37	100
Rochers, falaises	30															20		2			22	90,9
Plage	32																12	10			22	54,5
Mers, plans d'eau	40																	47			47	100
Zones humides	41										1			3	1				15		20	75
Dunes	100													2						4	6	66,7
TOTAL		21	42	25	20	43	45	12	14	14	118	16	21	56	44	20	12	59	21	5	608	82,3
Précision pour l'utilisateur (%)		90,5	97,6	76	85	100	95,6	91,7	85,7	100	81,4	93,8	47,6	73,2	84,1	100	100	79,7	71,4	80	86	82,9

Précision totale : **82,9 %**
Indice de Kappa : **0,83**

Tableau 25 : Matrice de confusion de l'IPLI.

La qualité de l'IPLI est inégale. Certaines classes sont en dessous du seuil de 50 % d'objets bien classés (« prairie humide », « friche »). Dans le cas des prairies humides, les confusions avec les terres agricoles sont courantes, tandis que les friches se confondent avec les « landes, maquis, garrigue » d'une part, et les « bois » d'autre part. Il y a également beaucoup d'objets mal classés parmi l'« habitat individuel diffus » (53,1 % d'objets bien classés, confusion avec les terres agricoles) et « plage » (54,5 % d'objets bien classés, confusions avec la mer). En dehors des « dunes », toutes les autres classes enregistrent des performances supérieures à 80 % d'objets bien classés.

2.2. Qualité sémantique et géométrique

Les classes d'occupation des sols les plus mal interprétées cumulent deux types d'erreurs classiques en photo-interprétation : les erreurs géométriques et les erreurs d'interprétation, (Girard et Girard, 2004 ; Jensen, 2005). La classe « habitat individuel diffus » est celle pour laquelle l'erreur géométrique est la plus nette. La faible performance de cette classe est essentiellement liée à son mode de production. Rappelons que, lors de la création de la base de données IPLI en 1977, l'interprétation des photographies était réalisée sur un calque ; les objets interprétés étant par la suite reportés sur un fond de carte IGN. Les objets appartenant à la classe « habitat individuel diffus » étaient représentés par un figuré ponctuel de forme carrée. Lors de la numérisation ultérieure des données, ce figuré ponctuel a été transformé en figuré surfacique, entraînant de très nombreux décalages géométriques de faible ampleur entre le bâti isolé sur le terrain et sa représentation numérique (figure 64). Le calcul de statistiques de surface est par conséquent peu significatif pour la classe « habitat individuel diffus ».



Figure 64 : Décalage géométrique des objets « habitat dispersé récent » dans l'IPLI.

Nous avons constaté qu'il existait des décalages entre les versions analogique et numérique de l'IPLI. Ainsi des objets initialement classés comme « prairie » ont été reclassés comme « terre cultivée » dans la version numérique. Pour la zone côtière du Pays de Brest le nombre d'objets classés en « prairie » dans la version numérique est d'ailleurs très faible (quatre objets localisés dans l'archipel de Molène, couvrant une superficie totale de 15,7 hectares). La disparition presque complète de cette classe lors de la numérisation de l'IPLI-77 constitue de fait un appauvrissement sémantique de la base de données.

Certaines classes de la typologie de l'IPLI sont sous représentées dans le Pays de Brest. C'est notamment le cas pour la classe « cultures légumières ou florales » définie comme « maraîchage, culture légumière de plein champ, serre, rizière » qui n'est présente que sur l'île de Molène. Les photo-interprètes ont choisi de faire appel à d'autres classes de la typologie pour classer ces entités. Ces « erreurs » d'interprétation suggèrent des lacunes dans l'homogénéisation finale des données, et vont aussi dans le sens d'un appauvrissement sémantique de la base de données produite au regard des potentialités de sa typologie.

2.3. Discussion

Inhérente à la subjectivité du photo-interprète, l'erreur d'interprétation est difficile à vérifier et à quantifier ; sa quantification étant elle-même soumise à la subjectivité de l'évaluateur de la qualité des données. La méthode mise en œuvre est basée sur la photo-interprétation de photographies aériennes de 1978 pour déterminer la classe d'occupation des sols à laquelle appartient chacun des points de contrôle. Deux étapes de photo-interprétation sont par conséquent superposées : la première pour créer les données de l'IPLI, la seconde pour interpréter les photographies aériennes servant à l'acquisition des points de contrôle, cumulant les risques d'erreurs d'interprétation. En outre cette démarche suppose que les

points (de la classification et de contrôle) peuvent être affectés sans ambiguïté à une seule classe, ce qui dans la pratique se vérifie rarement (Girard et Girard, 2004). En l'absence d'informations disponibles relatives à la qualité de l'IPLI, nous avons tout de même choisi cette méthode afin de disposer d'une évaluation quantitative de sa qualité. En effet contrairement aux informations extraites par classification d'images, rares sont les évaluations qualitatives et / ou quantitatives des informations extraites par photo-interprétation. A quelques exceptions près (Girard *et al.*, 1997), il est par conséquent difficile de comparer nos résultats avec ceux obtenus par d'autres auteurs.

Si l'on note que la précision globale de l'IPLI-77 se situe en dessous du seuil recommandé de 85 % de pixels bien classés pour une classification acceptable (Foody, 2002), elle est toutefois supérieure à 80 %, et l'indice de Kappa est de 0,83. Au vu du nombre élevé de classes prises en compte, nous estimons que les données de l'IPLI sont d'une très bonne qualité générale, exception faite de quelques classes aux performances plus faibles.

3. Croisement de l'IPLI (1977) et de la classification de SPOT 5 (2003)

Les changements d'occupation des sols intervenus dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 ont été mis en évidence en adoptant une démarche post-classificatoire (cf. p. 139).

3.1. Performance des données de changements

Les changements d'occupation des sols de la zone littorale du Pays de Brest, intervenus entre 1977 et 2003, sont cartographiés (figure 65).

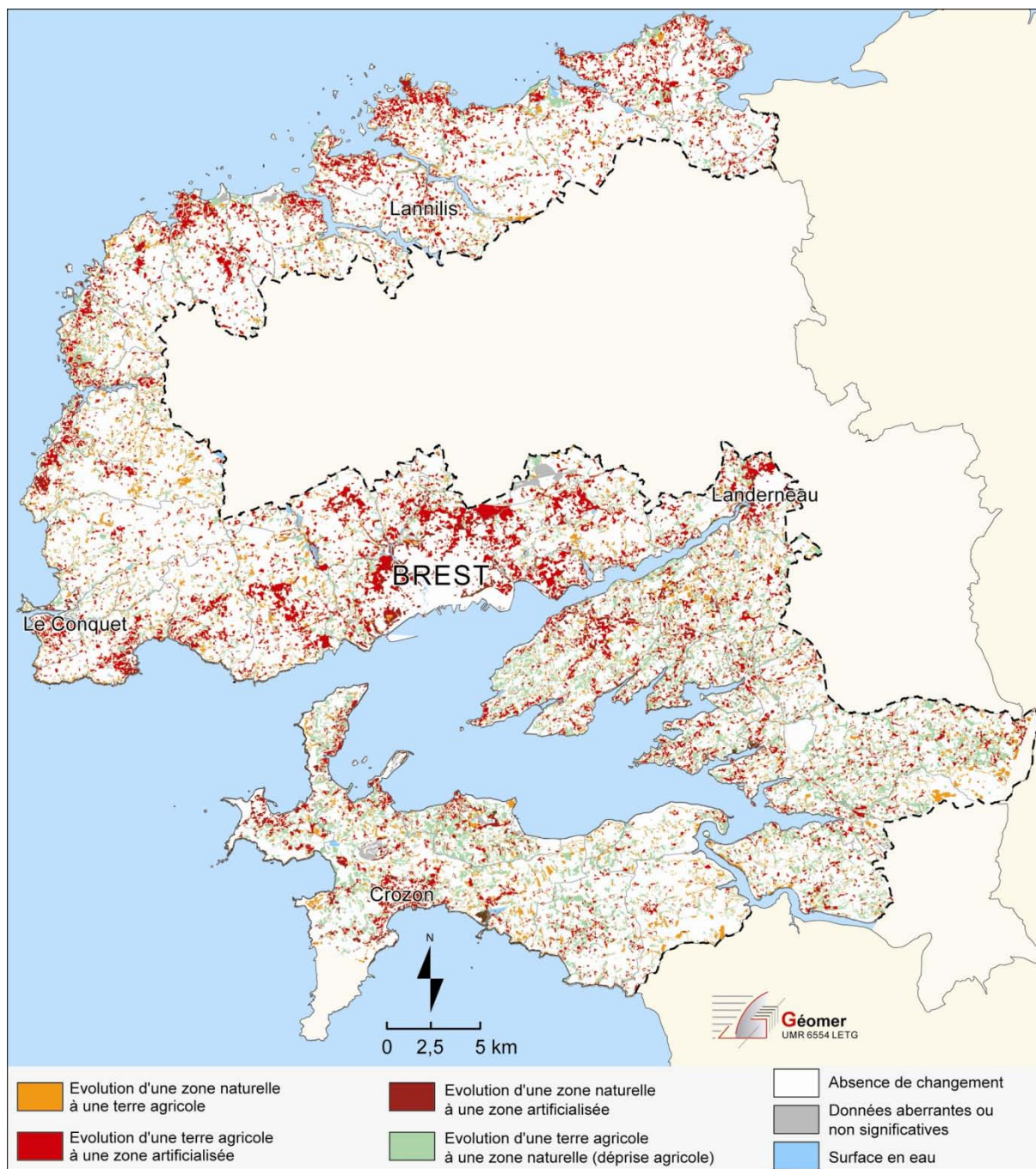


Figure 65 : Changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003.

La qualité de la couche des changements d'occupation des sols dépend à la fois de la précision de l'IPLI (1977) et de celle de la couche d'information résultant de la classification de SPOT 5 (2003). L'estimation de la qualité de la couche combinée, décrivant les changements, est obtenue en effectuant le produit de la précision de chacune des couches de base (IPLI et SPOT 5) à un niveau typologique agrégé (Mas, 2000 ; Yuan et Bauer, 2006) (tableau 26).

		1	2	3	0	TOTAL	Précision pour le réalisateur (%)
Zones artificialisées	1	206	9	2	0	217	94,9
Terres agricoles	2	1	96	6	0	103	93,2
Forêts et milieux naturels et semi-naturels	3	1	13	183	0	197	92,9
Autre	0	0	0	0	91	91	100,0
TOTAL		208	118	191	91	608	93,7
Précision pour l'utilisateur (%)		99,0	81,4	95,8	100,0	92,1	94,7

Précision totale : **94,7 %**
Indice de Kappa : **0,92**

Matrice de confusion de l'IPLI agrégé

		1	2	3	0	TOTAL	Précision pour le réalisateur (%)
Zones artificialisées	1	292	26	7	0	325	89,8
Terres agricoles	2	11	65	14	0	90	72,2
Forêts et milieux naturels et semi-naturels	3	9	23	231	2	265	87,2
Autre	0	1	0	2	237	240	98,8
TOTAL		312	114	252	239	920	87,0
Précision pour l'utilisateur (%)		93,6	57,0	91,7	99,2	85,4	89,7

Précision totale : **89,7 %**
Indice de Kappa : **0,85**

Matrice de confusion de la classification SPOT 5 agrégée

Précision totale de la carte des changements =
 $0,947 \times 0,897$,
soit **0,849**

Tableau 26 : Evaluation de la qualité de la couche d'information décrivant les changements d'occupation des sols du Pays de Brest entre 1977 et 2003.

Ainsi calculée, la performance globale de la couche relative aux changements d'occupation des sols est de 84,9 %.

3.2. Décalages géométriques et production d'artefacts

La nature et la généalogie des deux couches d'occupation des sols (1977 et 2003) utilisées pour identifier les changements sont à l'origine d'artefacts dans la couche combinée (figure 66).



Figure 66 : Exemple d'artefacts produits par croisement des données IPLI et SPOT 5.

3.3. Discussion

La performance globale de la carte des changements d'occupation des sols, élaborée à partir de la couche combinée, est de 84,9 %, ce qui est un bon résultat qu'il convient toutefois de nuancer. La méthode post-classificatoire induit une tendance à la surestimation de la quantité des changements mis en évidence (Mas, 2000). En effet, s'il y a plus de deux classes thématiques, une erreur de classification dans l'une des deux couches a une plus grande probabilité de faire apparaître un faux changement (classes différentes dans les deux images) que d'occulter un vrai changement (classes identiques dans les deux images).

Le croisement des données IPLI et SPOT 5 a produit de nombreux artefacts liés au décalage géométrique entre les deux sources de données, ce qui peut entraîner une surestimation des changements. Cependant la qualité globale de la couche d'information des changements d'occupation des sols restant satisfaisante, nous n'avons pas jugé nécessaire de procéder à une fastidieuse correction manuelle de ces artefacts.

Malgré les risques de surestimation liés aux choix méthodologiques, les résultats obtenus permettent de cartographier les changements d'occupation des sols intervenus dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003.

CHAPITRE 2 – LES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS ENTRE 1977 ET 2003

A partir de l'information produite sur l'occupation des sols en 1977 et en 2003, et sur les changements intervenus entre ces deux dates, un premier diagnostic est dressé. L'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest est décrite aux deux dates, avant d'identifier et de caractériser spatialement et quantitativement les principaux changements survenus.

Les principales dynamiques territoriales mises en évidence servent à ébaucher des pistes de réflexions quant aux facteurs susceptibles de les expliquer.

1. Occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest en 1977

1.1. Un territoire hétérogène

Rappelons que, compte tenu de l'emprise spatiale de l'IPLI, les résultats obtenus ne concernent que les communes littorales du Pays de Brest.

En 1977, la zone côtière du Pays de Brest était majoritairement couverte par des terres agricoles (68,6 %). Viennent ensuite les forêts et les espaces naturels et semi-naturels (22,1 %), puis les zones artificialisées (8,4 %) (figure 67).

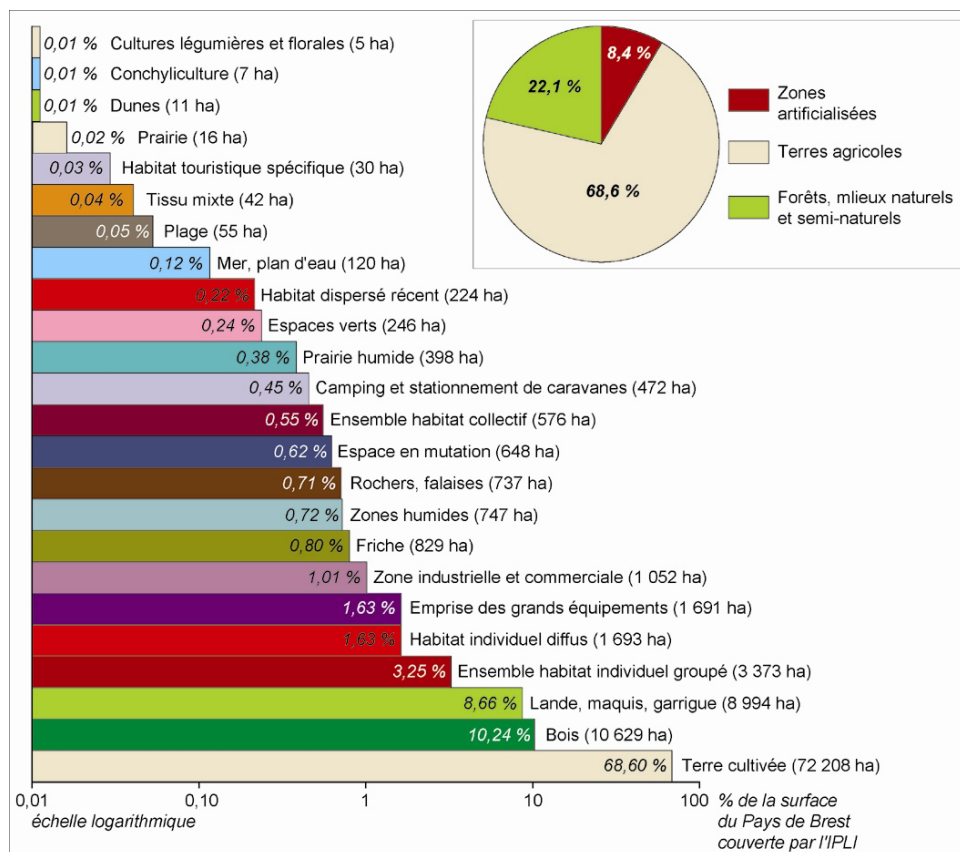


Figure 67 : Statistiques de l'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977 d'après l'IPLI.

La répartition des zones artificialisées sur la zone côtière du Pays de Brest en 1977 n'est pas homogène (figure 68). Une dissymétrie assez nette est visible entre le nord et le sud de la rade de Brest.

Au sud, les zones artificialisées présentent un caractère très dispersé caractéristique de l'habitat breton. Au nord, l'artificialisation littorale est plus concentrée, et forme des pôles ou des continuums urbains clairement identifiables. Ainsi les deux pôles urbains du Pays de Brest, Brest et Landerneau, sont aisément visibles. Dès 1977, certaines portions du linéaire côtier (pays Pagan, commune de Plouguerneau, littoral du pays d'Iroise, fond de la rade de Brest) font l'objet d'une artificialisation plus intense qui peut prendre la forme d'un « ruban » parallèle au trait de côte (communes de Porspoder, Lampaul-Plouarzel, Plougonvelin). A l'inverse, il existe des portions de littoral presque vierges de toute artificialisation (Landunvez, Ploumoguier, Plouzané, Landévennec, Rosnoën). Dans les communes littorales situées du nord du Pays de Brest (Plouguerneau, pays Pagan), l'artificialisation est plus dispersée et mite le paysage côtier sous la forme de hameaux constitués de quelques maisons.

Les milieux naturels et semi-naturels relativement rares au nord du Pays de Brest, sont plus denses au sud où ils prennent la forme de petites forêts ou de landes, particulièrement représentés sur la Presqu'île de Crozon. Enfin la prédominance des terres cultivées est bien plus nette au nord de la rade qu'au sud.

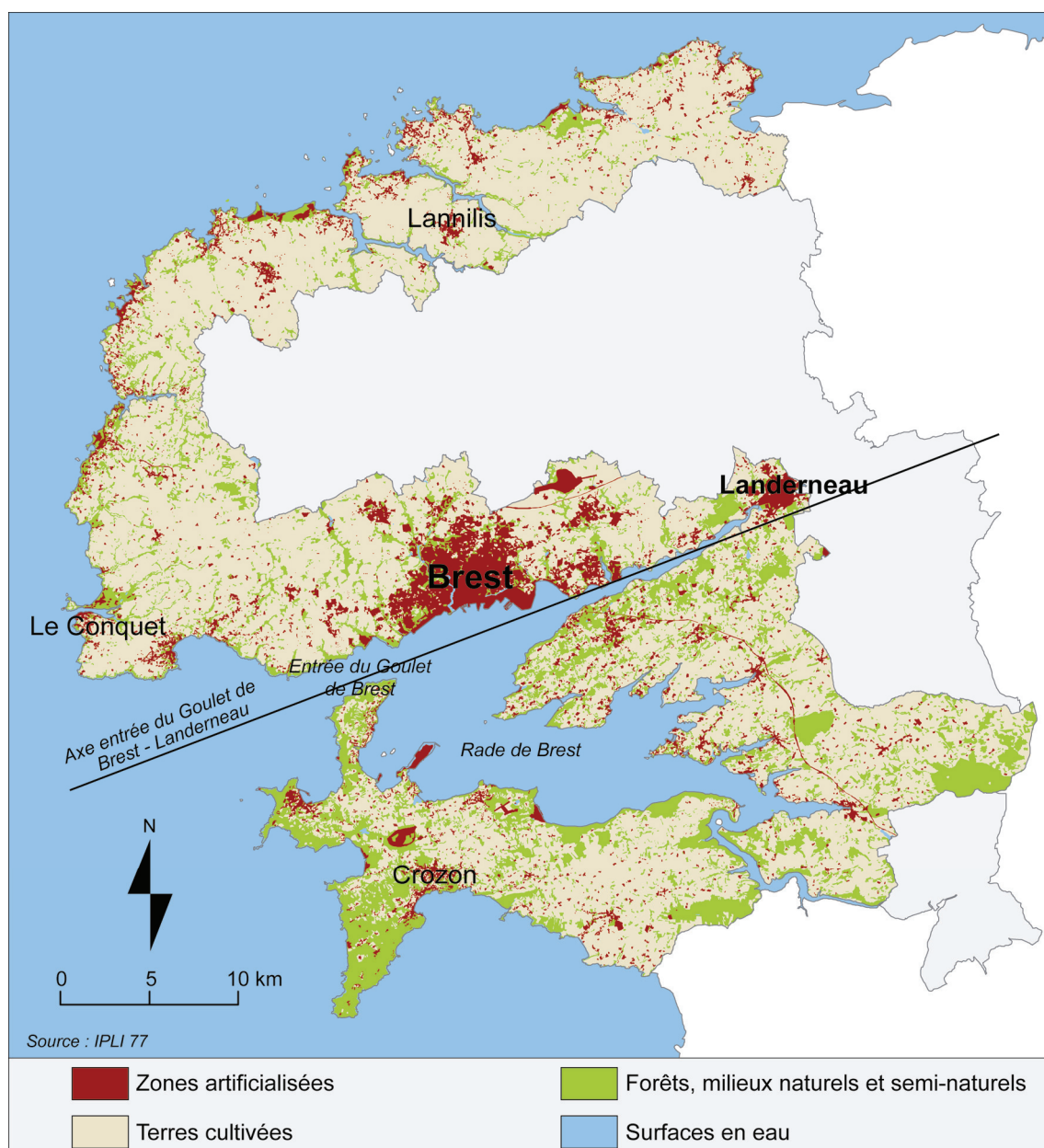


Figure 68 : Occupation des sols agrégée de la zone côtière du Pays de Brest en 1977 d'après l'IPLI.

L'analyse de l'occupation des sols agrégée par communauté de communes complète les constats précédents (figure 69).

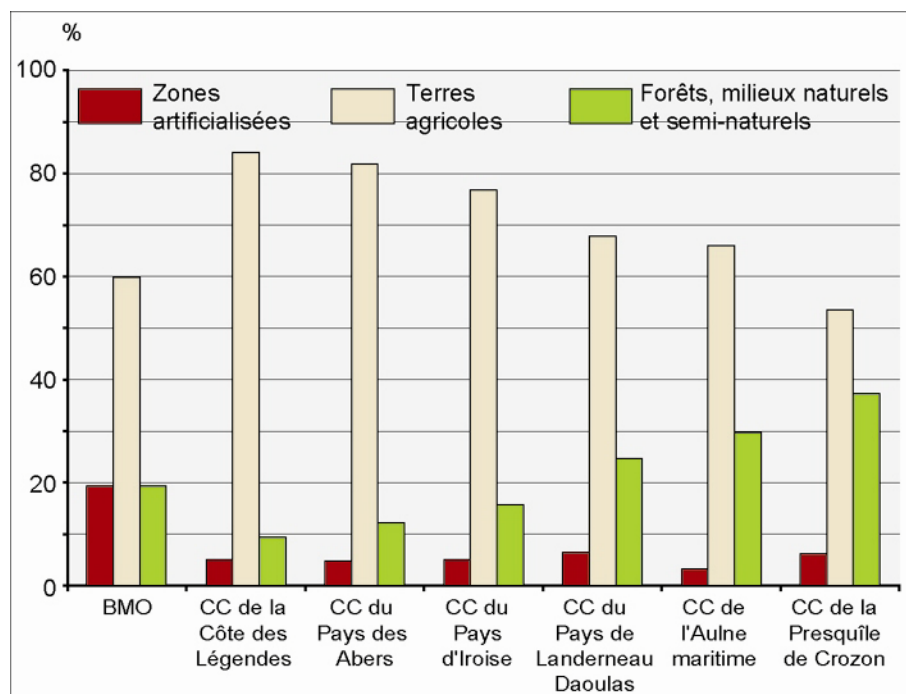


Figure 69 : Occupation des sols agrégée par communauté de communes dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977.

C'est sur le littoral de la communauté urbaine de Brest (BMO) que la part des zones artificialisées est la plus importante (19,5 %). Elle est équivalente à la part des forêts, milieux naturels et semi-naturels (19,5 %). Exception faite de la CC du Pays de Landerneau-Daoulas et de la CC Presqu'île de Crozon, les autres communautés de communes ont une proportion de zones artificialisées côtières égale ou inférieure à 5 %. Dans les communautés de communes du nord du Pays de Brest (Pays de Lesneven et de la Côte des Légendes, Pays d'Iroise, Pays de Plabennec et des Abers), la part des terres agricoles dans la zone côtière est supérieure à 77 % (contre 68 % pour la moyenne des communes littorales du Pays de Brest). La proportion des forêts et milieux naturels et semi-naturels est inférieure à 15,2 % (contre 22 % pour la moyenne des communes littorales du Pays de Brest). Au sud de la rade de Brest, les terres agricoles sont moins prédominantes. La part des terres cultivées est inférieure à 70 % dans les communautés de communes du Pays de Landerneau-Daoulas, de la Presqu'île de Crozon et de l'Aulne Maritime. La proportion de forêts et milieux naturels et semi-naturels y est par contre plus élevée que dans les communautés de communes du plateau léonard (égale ou supérieure à 25 %).

1.2. Un littoral artificialisé et peu cultivé

L'analyse réalisée en fonction de la distance au trait de côte permet d'affiner les observations relatives à la répartition des grands types d'occupation des sols tout en s'affranchissant des limites administratives. Pour ce faire, l'occupation des sols a été découpée en « bandes » de largeur variable (figure 70) s'inspirant du découpage adopté par l'Observatoire du Littoral (2009).

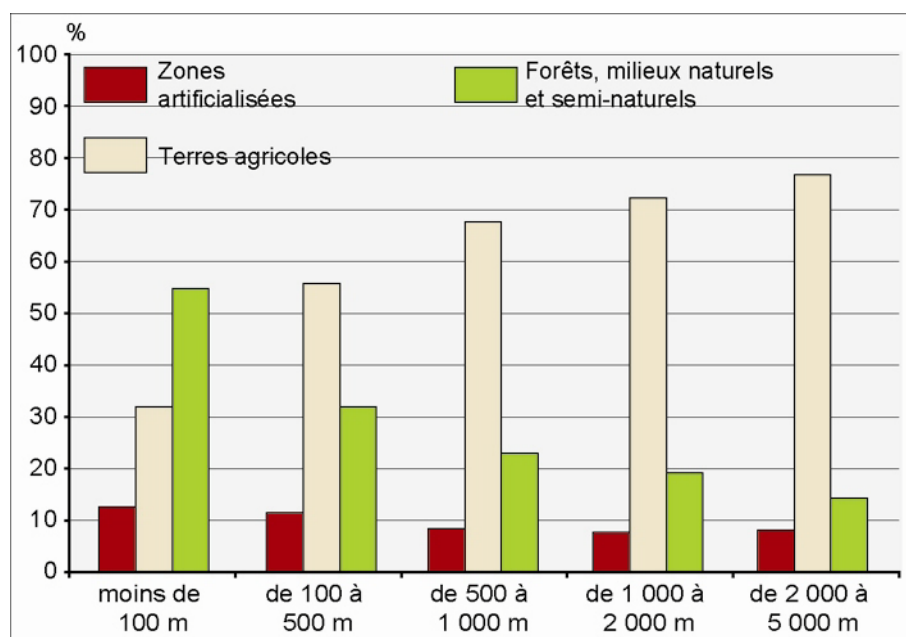


Figure 70 : Occupation des sols agrégée dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977 en fonction de la distance à la mer.

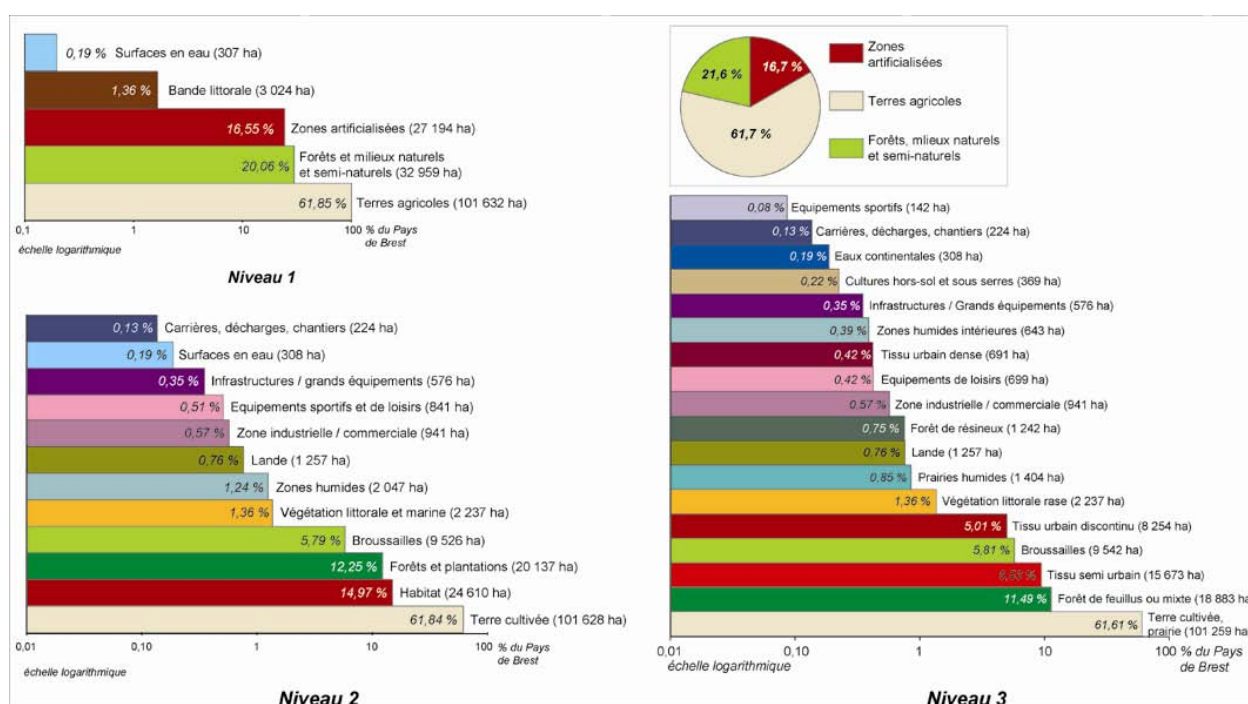
La répartition des principaux types d'occupation des sols varie fortement en fonction de la distance au littoral (figure 70). Déjà en 1977, l'immédiat bord de mer est une zone privilégiée d'installation humaine et d'artificialisation (12,8 % de zones artificialisées). L'artificialisation demeure assez conséquente dans la bande de 100-500 m (11,5 %), mais passe ensuite en dessous des 10 % à plus de 500 m de distance de la mer, ce qui témoigne de l'effet attractif de la proximité de la mer pour la construction. La part des forêts, milieux naturels et semi-naturels est la plus importante dans la bande des 100 m (55 %) et diminue avec l'éloignement du trait de côte. A l'inverse, la part des terres agricoles croît à mesure que l'on s'en éloigne : de l'ordre du tiers (32 %) dans la bande de 100 m, elle dépasse la moitié (56 %) dans la bande de 100 à 500 m de la mer, pour atteindre plus de 75 % au-delà de 2000 m.

2. Occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003

2.1. Un territoire densément artificialisé

Les résultats concernent l'ensemble du Pays de Brest, exception faite des parties non couvertes par l'image SPOT 5 (commune de Saint-Segal, île Molène, sud du Cap de la Chèvre).

En 2003, la part totale des surfaces artificialisées dans le Pays de Brest est de 16,4 %, ce qui en fait un territoire densément artificialisé. Les terres agricoles couvrent plus de la moitié de la surface (61,5 %), et les forêts et milieux naturels et semi-naturels 21,3 % (figure 71).



La figure 72 montre l'importance du mitage créé par la dispersion historique de l'habitat. Les gros bourgs et les petites villes sont aisément identifiables, mais on remarque aussi une grande quantité de petits hameaux de faible superficie. Au nord du Pays de Brest, l'habitat en ruban le long du littoral se distingue nettement, certaines portions du trait de côte demeurent toutefois épargnées (Ploumoguier, Landunvez, Plouzané dans une moindre mesure). Les pôles urbains sont moins nombreux au sud de la rade, où le phénomène de mitage est bien visible. L'urbanisation littorale y est moins nette que dans le nord du Pays de Brest, à l'exception de quelques secteurs en Presqu'île de Crozon (Morgat, partie est de la commune de Roscanvel, Camaret). La part des forêts et milieux naturels et semi-naturels y est importante. La dissymétrie entre le nord et le sud de la rade de Brest est toujours visible.

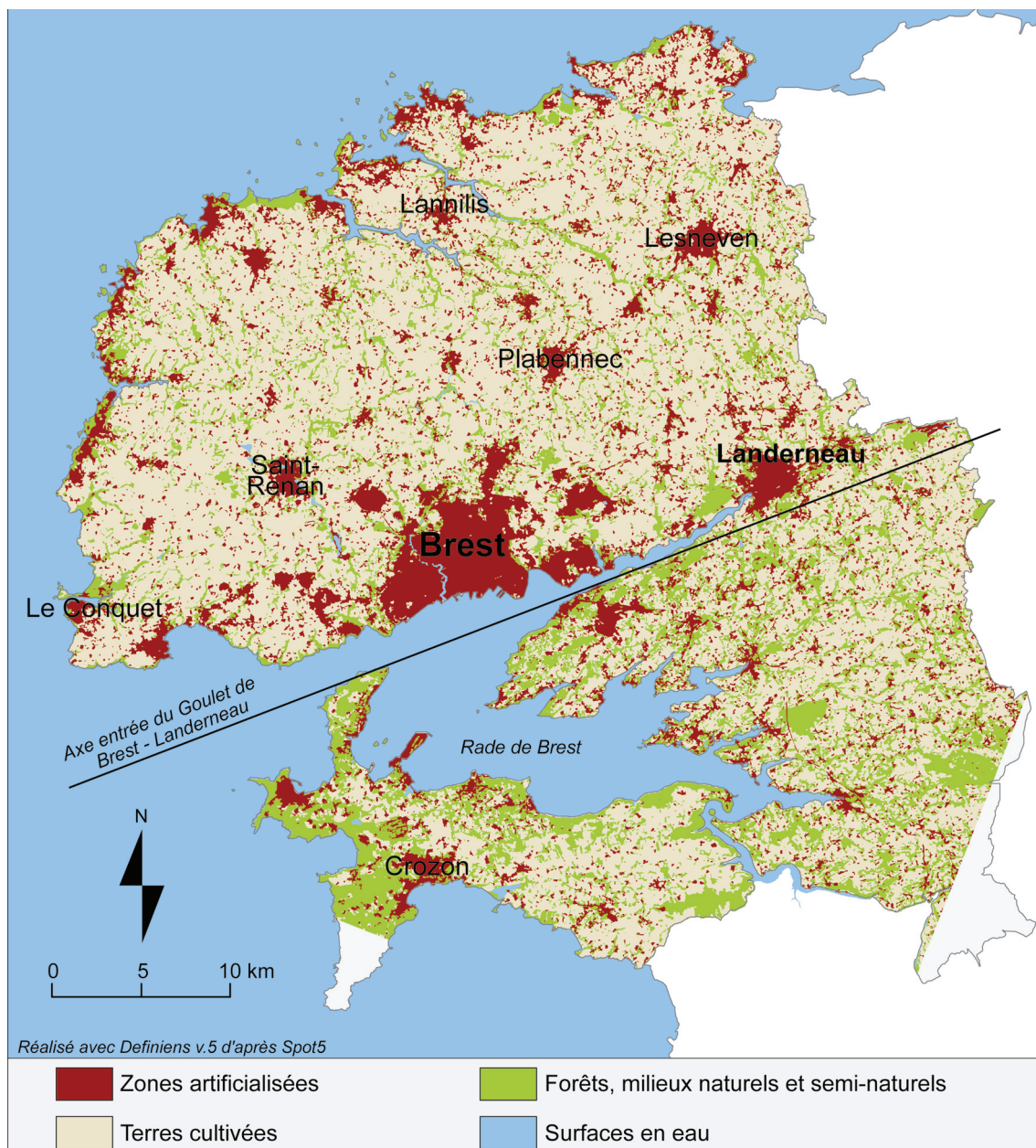


Figure 72 : Occupation des sols agrégée du Pays de Brest en 2003.

2.2. Variations de l'occupation des sols par EPCI

La figure 73 illustre la répartition des principaux types d'occupation des sols par EPCI.

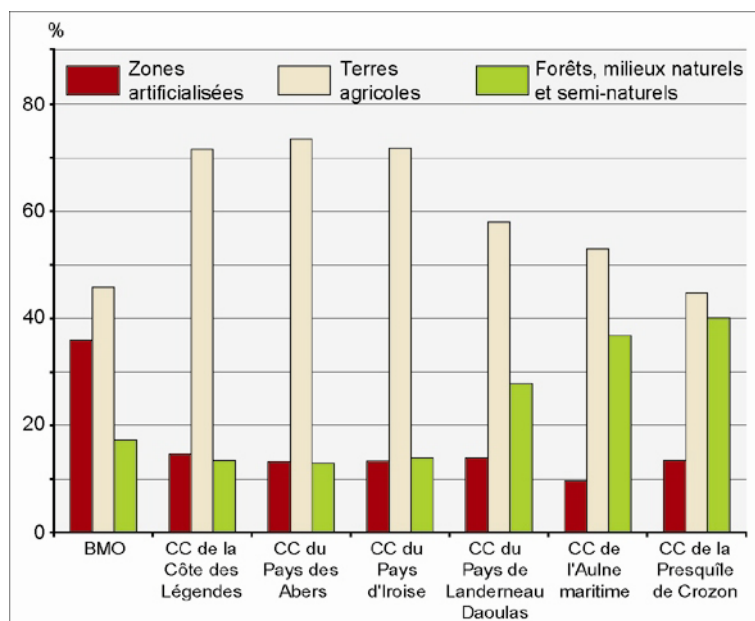


Figure 73 : Occupation des sols dans les EPCI du Pays de Brest en 2003.

C'est logiquement dans la communauté urbaine de Brest (BMO) que les espaces artificialisés occupent la plus forte part (36,4 %). Dans les autres EPCI, elle est assez homogène (environ 13,5 %), sauf dans le Pays de Lesneven et de la Côte des Légendes où elle est un peu plus forte (14,6 %), et dans la CC de l'Aulne Maritime où elle est beaucoup plus faible (9,7 %). La part des milieux naturels et semi-naturels des EPCI situées au sud de la rade de Brest (Pays de Landerneau – Daoulas (27,8 %), Presqu'île de Crozon (40,7 %) et Aulne Maritime (37 %)), est supérieure à la moyenne du Pays de Brest (qui est de 21 %), tandis que la part des terres agricoles y est inférieure à la moyenne. Ainsi, la répartition des grands types d'occupation des sols par EPCI fait apparaître clairement la dissymétrie, avec une plus forte proportion des terres agricoles au nord et des zones naturelles et semi-naturelles au sud.

2.3. L'influence de la proximité de la mer

2.3.1. Des communes littorales plus artificialisées que l'arrière-pays

La répartition des principaux types d'occupation des sols révèle des disparités entre les communes littorales et de l'arrière-pays (figure 74).

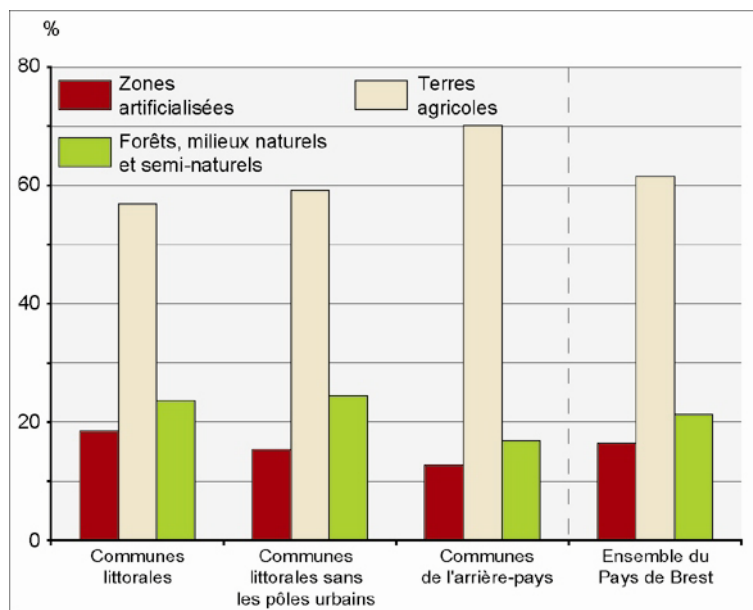


Figure 74 : Occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003 en fonction du type de commune.

Les zones artificialisées sont plus importantes dans les communes littorales que dans les communes de l'arrière-pays (18,8 % contre 12,6 %). Cependant, les deux principaux pôles urbains, Brest et Landerneau, sont littoraux. Leur exclusion du calcul montre que la part des zones artificialisées atteint encore 15,8 % dans les communes littorales, et reste supérieure à la moyenne des communes littorales finistériennes (12,8 % selon CLC) et bretonnes (14,5 % selon CLC) (Observatoire du Littoral, 2009). Les milieux naturels et semi-naturels sont plus présents sur le littoral que dans l'arrière-pays (23,6 % contre 17,8 %), à l'inverse des terres agricoles (57,5 % contre 69,5 %).

2.3.2. Occupation des sols et distance au trait de côte

A l'instar des observations effectuées à l'échelle nationale (cf. p.81), la distance à la mer a une influence sur l'occupation des sols du Pays de Brest en 2003 (figure 75). La méthode employée pour l'analyse est identique à celle utilisée plus haut avec les données de l'IPLI (cf. p.172).

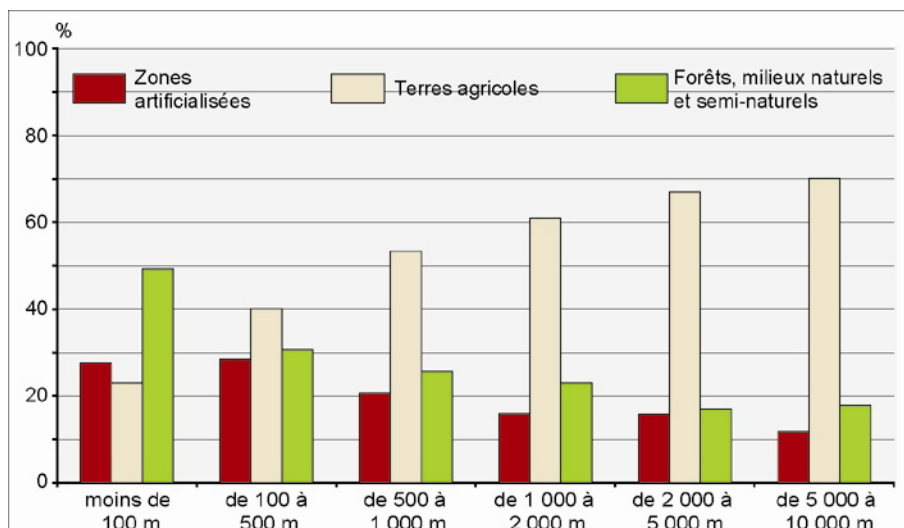


Figure 75 : Occupation des sols agrégée dans la zone côtière du Pays de Brest en 2003 en fonction de la distance à la mer.

La bande située à moins de 100 m du trait de côte est fortement artificialisée (27,6 %), même si l'artificialisation apparaît légèrement plus importante dans la zone rétro-littorale comprise entre 100 et 500 m (28,5 %). La part des zones artificialisées décroît ensuite à mesure que l'on s'enfonce dans les terres (20 % entre 500 m et 1000 m, puis moins de 16 %). La part des forêts, milieux naturels et semi-naturels est également très importante dans la bande des 100 m (plus de 49 %) tandis que celle occupée par les terres agricoles est la plus faible (23 %). Le rapport entre les milieux naturels et les terres agricoles s'inverse au-delà de la bande des 100 m et l'écart entre leur proportion ne cesse ensuite de se creuser avec l'éloignement du trait de côte. Dans la bande de 100-500 m, les terres agricoles occupent 40 % de la superficie, et les milieux naturels et semi-naturels 30,7 %. Les chiffres sont respectivement de 70,1 et 17,8 % dans la bande des 5-10 km.

3. Changements d'occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003

Les observations précédentes révèlent quelques grandes tendances d'évolution intervenues en 25 ans que le croisement des données de l'IPLI et de la classification de l'image SPOT 5 permet d'affiner. Cette analyse est menée en deux temps :

- La mise en évidence des évolutions spatiales les plus marquantes et l'évaluation de leur intensité ;
- La description des principaux types de changements, à savoir l'artificialisation, la mise en culture de zones naturelles ou semi-naturelles et la déprise agricole.

3.1. Des changements inégalement répartis

3.1.1. Des changements importants mais localisés

Sur la frange côtière du Pays de Brest, le changement le plus important est l'artificialisation (figure 76). En effet, la moitié des terres ayant changé d'affectation entre 1977 et 2003 se sont artificialisées (49,6 %), essentiellement au détriment de terres agricoles, ce qui représente 12 500 ha soit 12,3 % des communes littorales. La déprise agricole est également marquée, puisqu'elle concerne 8,7 % des communes littorales du Pays de Brest, 35 % des terres ayant changé d'affectation en 25 ans. En revanche, la mise en culture de nouvelles terres agricoles au détriment de zones naturelles est plus marginale (3,8 % de la zone côtière du Pays de Brest soit 15,3 % des changements observés).

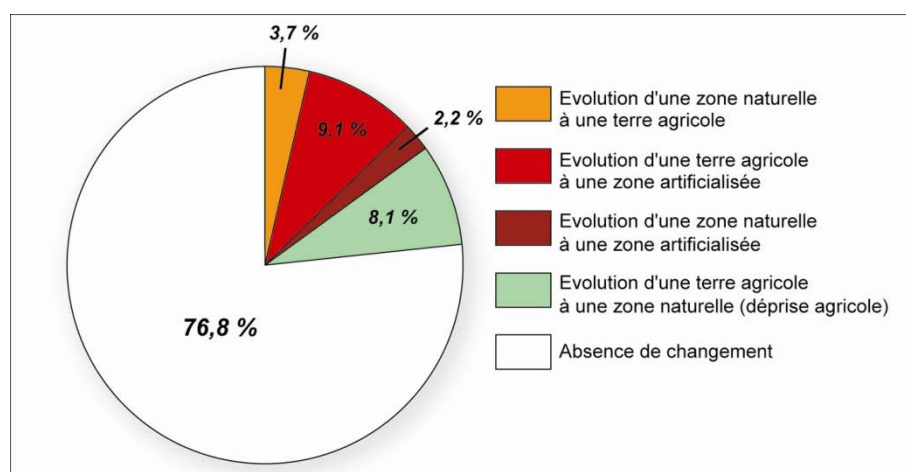


Figure 76 : Proportion des changements d'occupation des sols intervenus entre 1977 et 2003 dans les communes littorales du Pays de Brest.

Ces changements ne se sont pas produits partout avec la même intensité. La représentation cartographique de l'intensité des changements⁸⁸ permet d'identifier les secteurs côtiers du Pays de Brest dont l'occupation des sols a le plus évolué entre 1977 et 2003, tous types d'évolution confondus (figure 77).

88. La méthode employée pour réaliser les cartes d'intensité des changements est décrite p. 145.

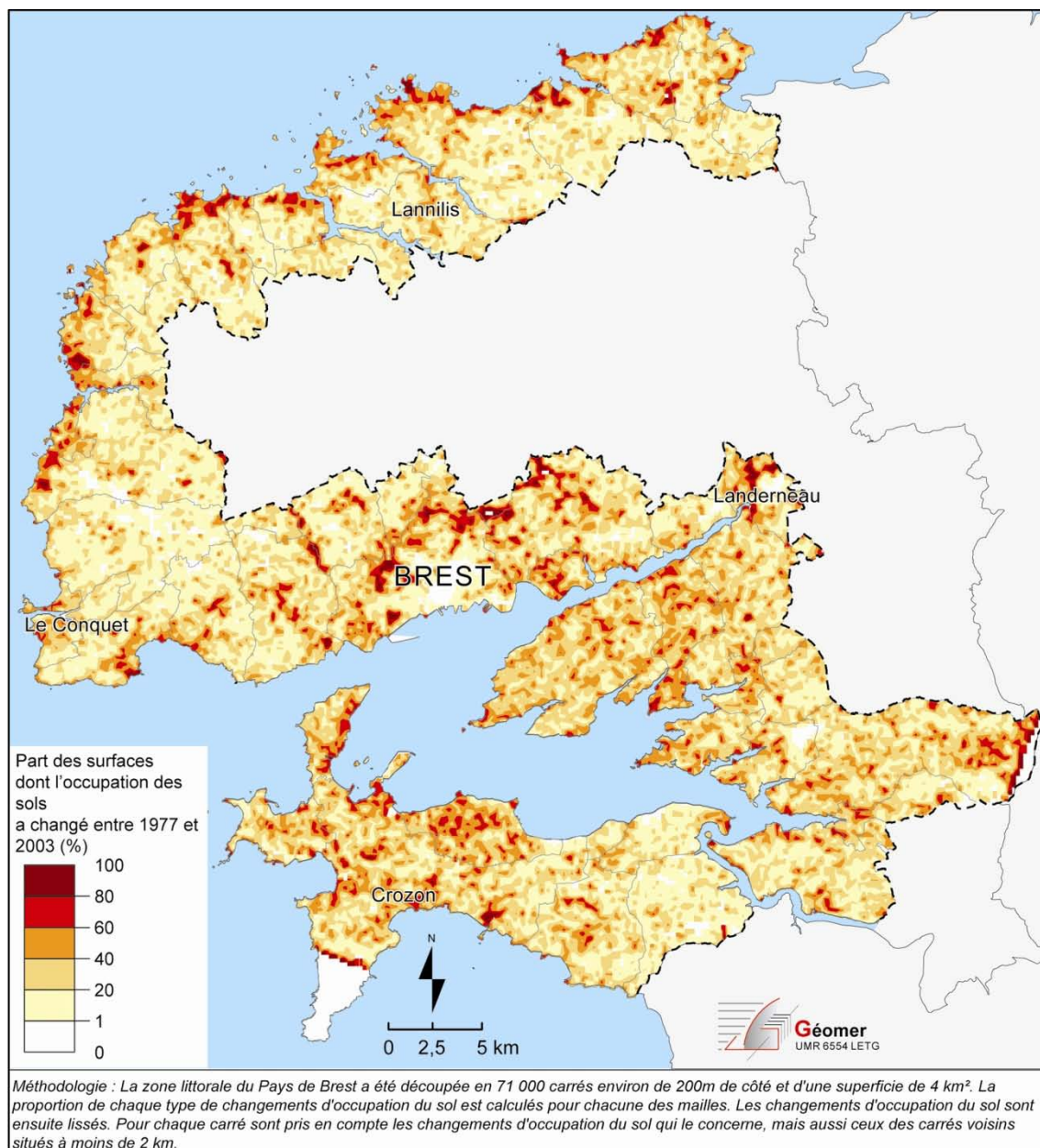


Figure 77 : Surfaces ayant changé d'occupation des sols entre 1977 et 2003.

A l'exception d'une couronne autour de la ville de Brest, les changements d'occupation des sols sont essentiellement localisés en bord de mer, tout particulièrement sur le littoral nord où ils forment des rubans. Ainsi les changements situés au nord de la rade de Brest sont concentrés sur des secteurs définis tandis que ceux survenus au sud sont plus diffus et dispersés.

Les taux de changements d'occupation des sols varient aussi en fonction des EPCI (figure 78).

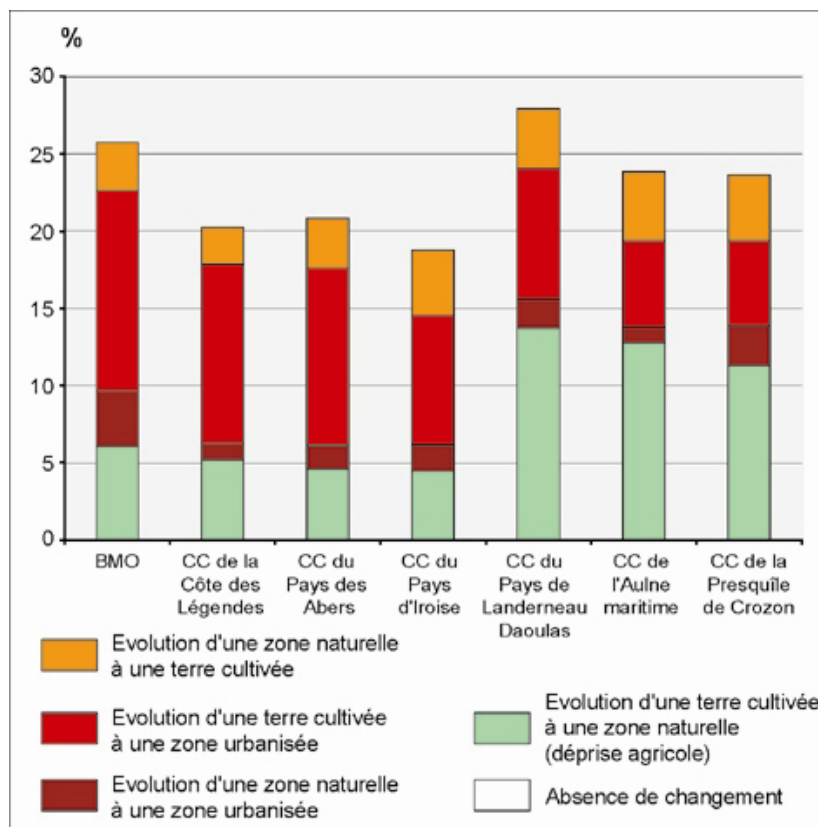


Figure 78 : Part des EPCI du Pays de Brest ayant changé d'occupation des sols entre 1977 et 2003

C'est la CC du Pays de Landerneau-Daoulas qui a subi les changements d'occupation des sols les plus importants entre 1977 et 2003 (28 % de sa surface). Ils sont aussi conséquents dans les communes littorales des deux autres EPCI du sud de la rade de Brest, Aulne maritime (24,1 %) et Presqu'île de Crozon (23,1 %). La zone côtière de BMO présente également un taux important de conversion des terres (25,4 %).

3.1.2. L'influence de la mer

L'analyse de l'influence du bord de mer (figure 79) confirme ces observations.

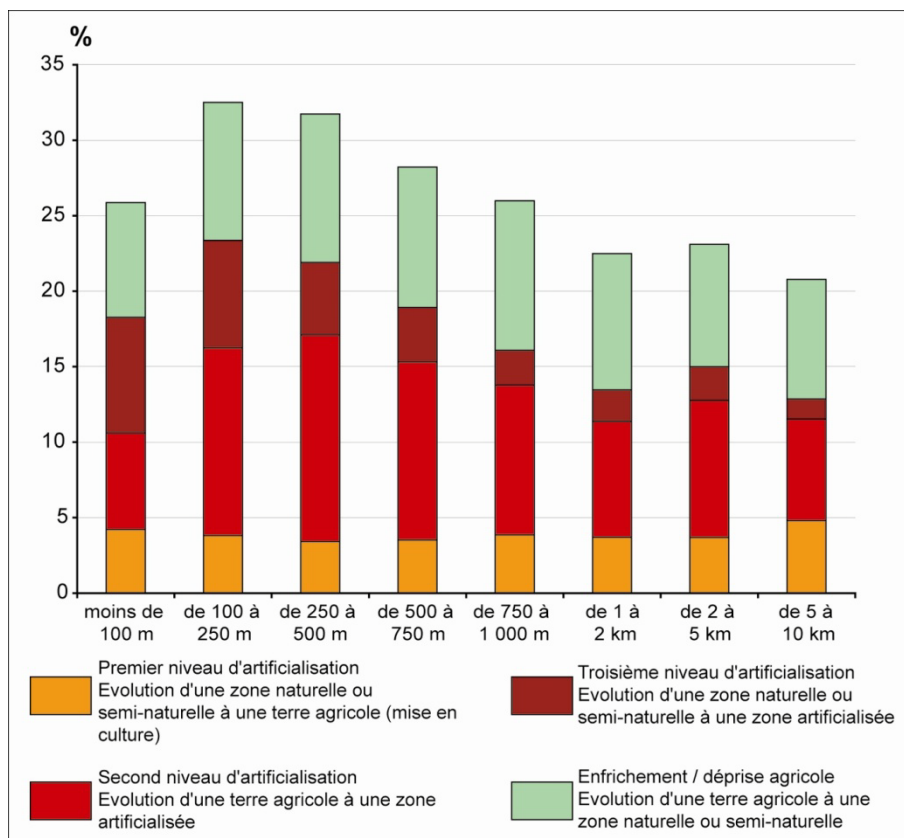


Figure 79 : Changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.

Au cours de la période considérée, c'est entre 100 et 250 m du trait de côte que les conversions d'occupation des sols ont été les plus importantes puisque plus de 30 % des terres ont changé d'affectation. Malgré la protection réglementaire instaurée par la loi Littoral, les changements sont également importants dans la bande des 100 m, pour ensuite diminuer au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer.

3.2. Artificialisation, mise en culture et déprise agricole

3.2.1. L'artificialisation, moteur des changements dans la zone côtière du Pays de Brest

L'artificialisation est le changement principal ayant affecté la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003, avec une localisation préférentielle autour des grands pôles urbains et sur certains secteurs littoraux (figure 80).

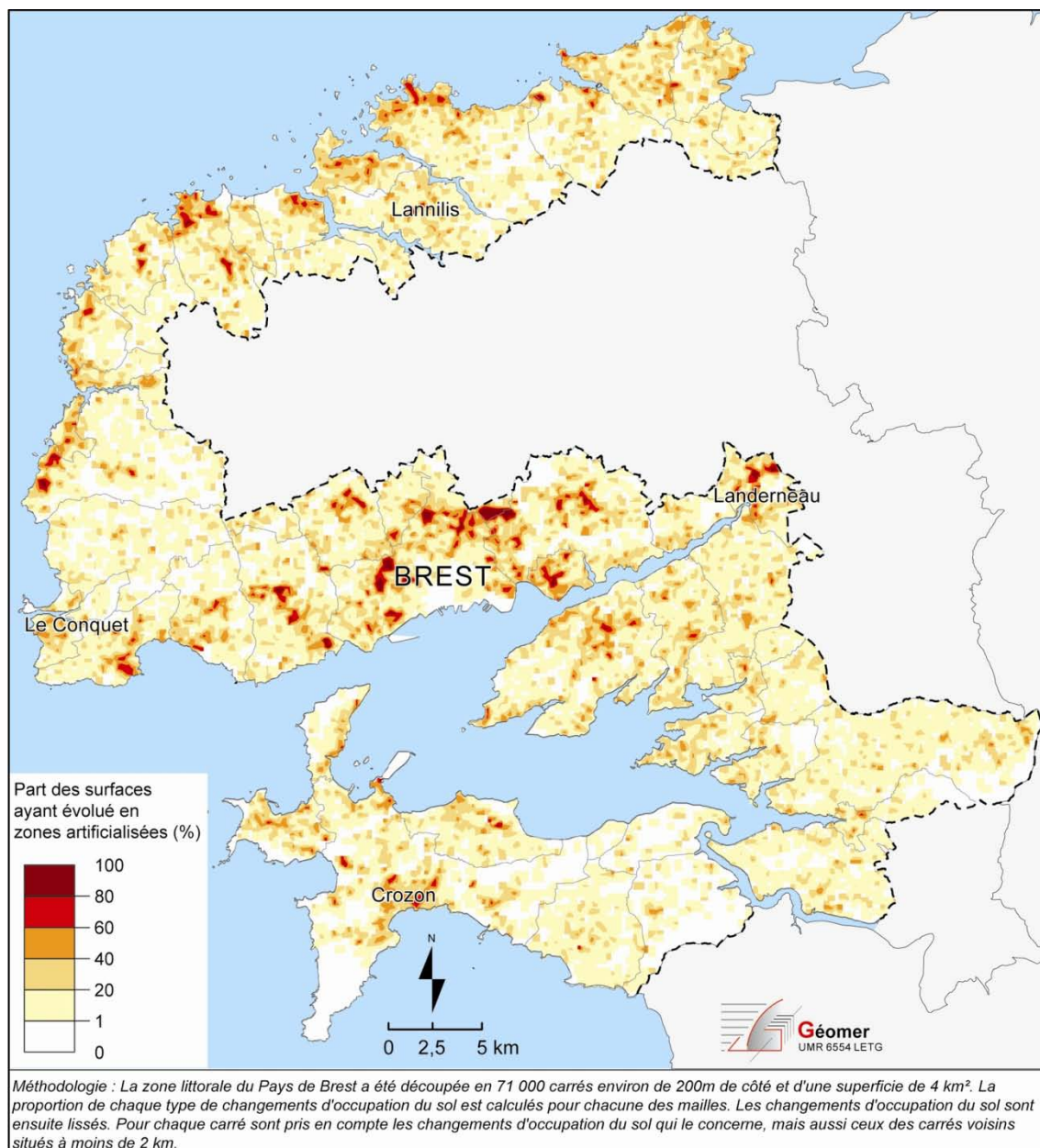


Figure 80 : Artificialisation entre 1977 et 2003.

Au nord du secteur d'étude, les zones concernées correspondent approximativement aux secteurs ayant connu les changements les plus importants, quelle que soit leur nature. L'artificialisation en couronne autour des agglomérations principales (Brest et Landerneau) est très nette et témoigne des phénomènes d'étalement urbain et de périurbanisation (cf. p.189). Les centres villes des communes de BMO s'individualisent particulièrement, illustrant ce mouvement de périurbanisation et d'étalement des bourgs, notamment sous la forme de lotissements. Entre 1977 et 2003, c'est 18,5 % de la surface de BMO qui s'est ainsi artificialisée. Les autres secteurs qui se sont fortement artificialisés sont majoritairement situés sur la frange littorale.

L'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest s'est très majoritairement réalisée au détriment des terres agricoles. Entre 1977 et 2003, 9 400 ha de terres agricoles ont été consommés (soit 37 % des changements observés), contre seulement 3 000 ha de zones

naturelles et semi-naturelles (12 % des changements observés). Ces dernières ont été plus particulièrement affectées autour de Brest, notamment dans des secteurs qui étaient en 1977 des fonds de vallons en friche. Ce type d'artificialisation est également visible sur le littoral, où il demeure cependant marginal au regard de l'artificialisation des terres agricoles.

Au total, dans la zone côtière du Pays de Brest, la part des terres artificialisées est passée de 8 600 à 19 700 ha, soit un taux de variation de 129 %. Dans le même temps, la surface couverte par les terres agricoles a baissé de 25 %, de 70 600 à 57 000 ha, tandis que les forêts et milieux naturels et semi-naturels ont progressé de 11 % (21 600 à 24 100 ha).

3.2.2. Plus de friches, moins de mise en culture

La mise en culture de zones naturelles entre 1977 et 2003 ne concerne qu'une faible part de la zone côtière du Pays de Brest, soit 15,3 % des surfaces ayant changé d'affectation entre 1977 et 2003 (figure 81).

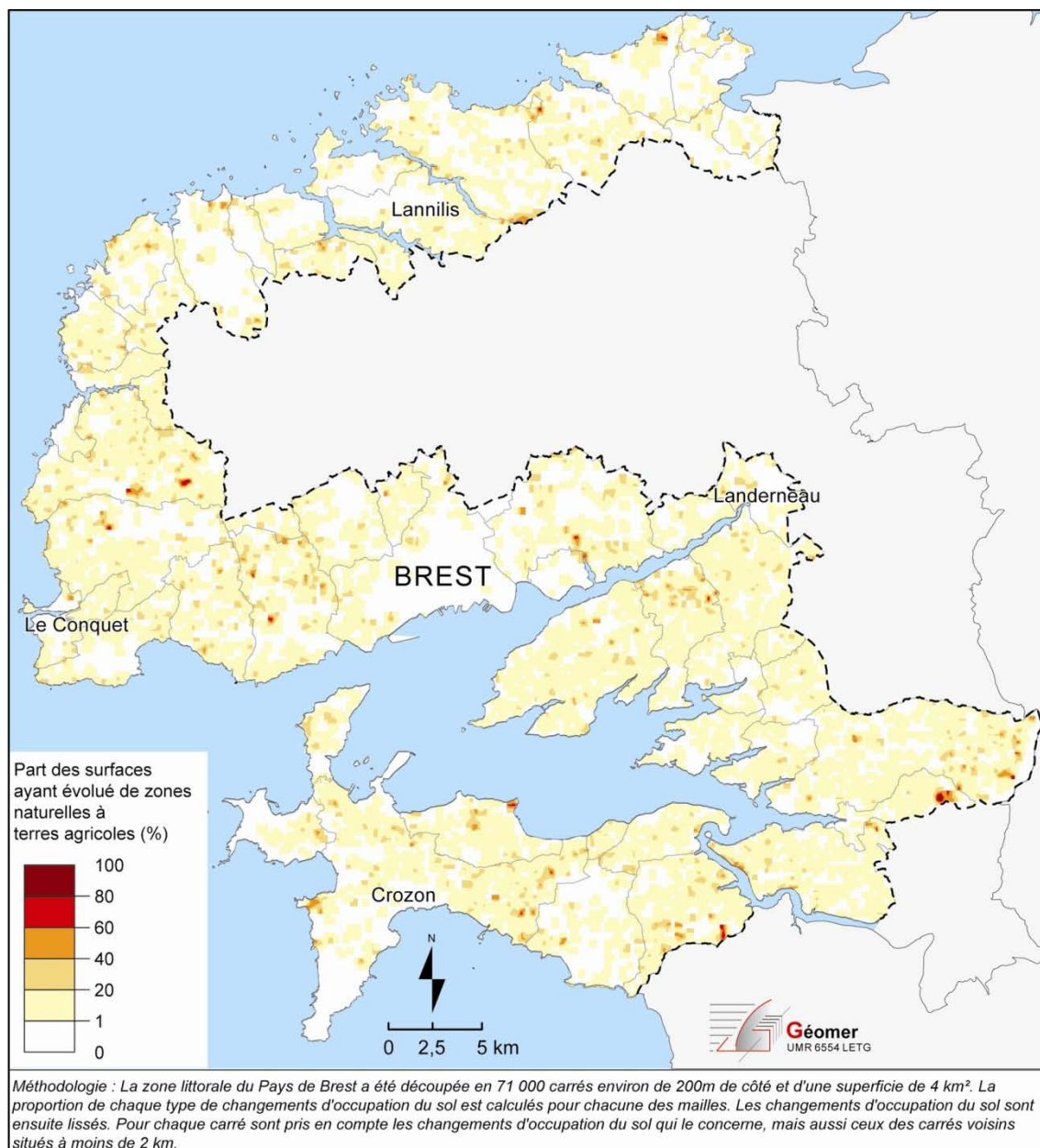


Figure 81 : Surfaces mises en culture au détriment de zones naturelles entre 1977 et 2003.

Ce phénomène est relativement marginal, et aucun secteur ne s'individualise comme étant spécifiquement marqué par une importante mise en culture. Ceci s'explique essentiellement par le fait qu'en 1977 la zone côtière du Pays de Brest était déjà très agricole et que l'évolution récente des exploitations se traduit par davantage de concentration.

L'enfrichement concerne 35 % des surfaces du secteur d'étude ayant changé d'affectation entre 1977 et 2003. On observe ici encore une dissymétrie entre le sud et le nord de la rade de Brest (figure 82).

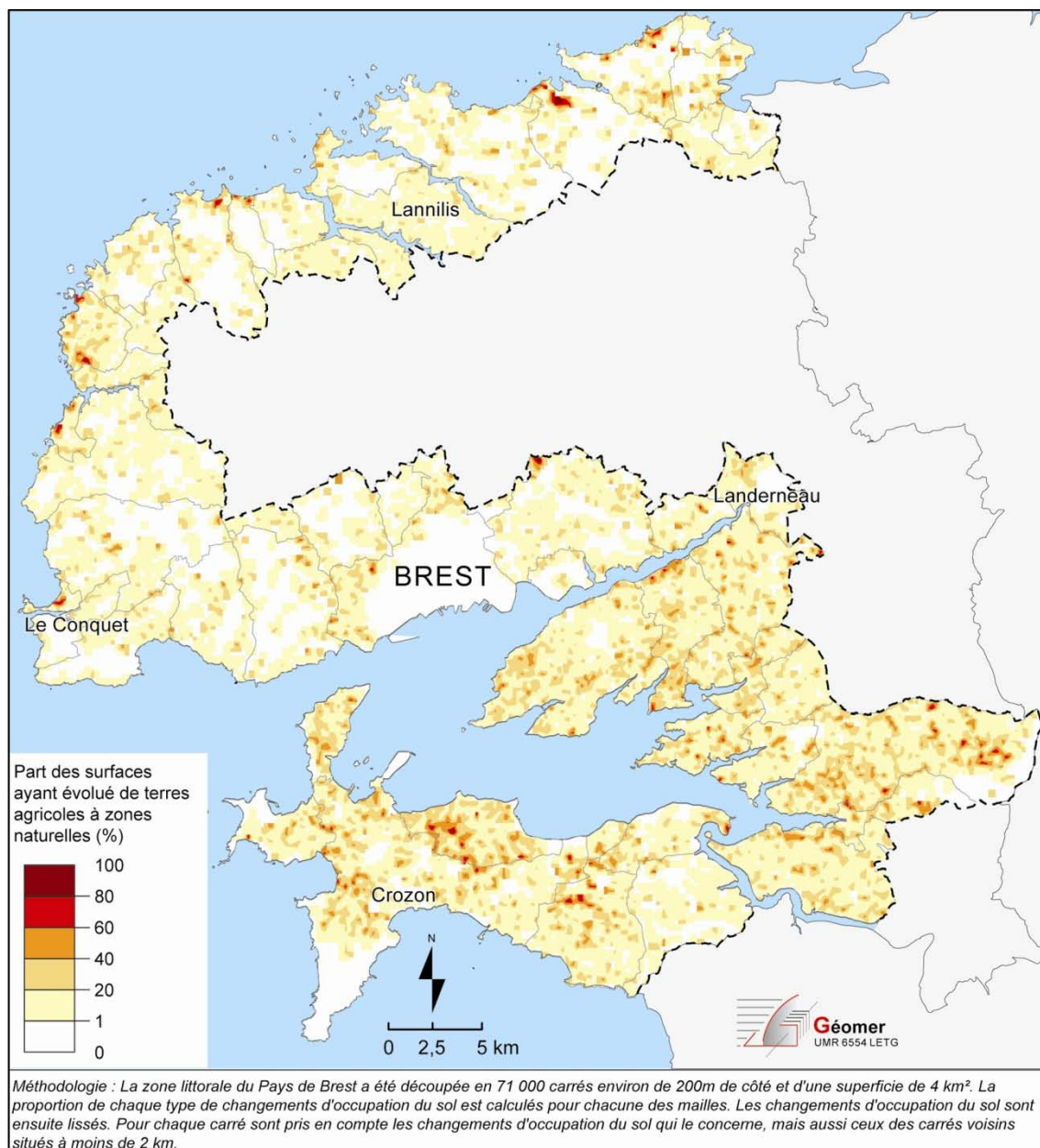


Figure 82 : Surfaces s'étant enrichies entre 1977 et 2003.

En effet, l'enrichissement est plus important au sud, sans que s'individualisent des secteurs spécifiques. L'évolution vers la broussaille ou les surfaces boisées mite le paysage sans réelle localisation préférentielle. Elle concerne 8,7 % de la surface des communes littorales. Au nord de la rade, le phénomène se concentre plutôt sur quelques secteurs littoraux (figure 82).

Si on extrapole ces observations à l'ensemble de la zone côtière du Pays de Brest, on remarque que l'enrichissement n'est pas significativement plus important sur la frange littorale qu'à l'intérieur des terres (figure 83).

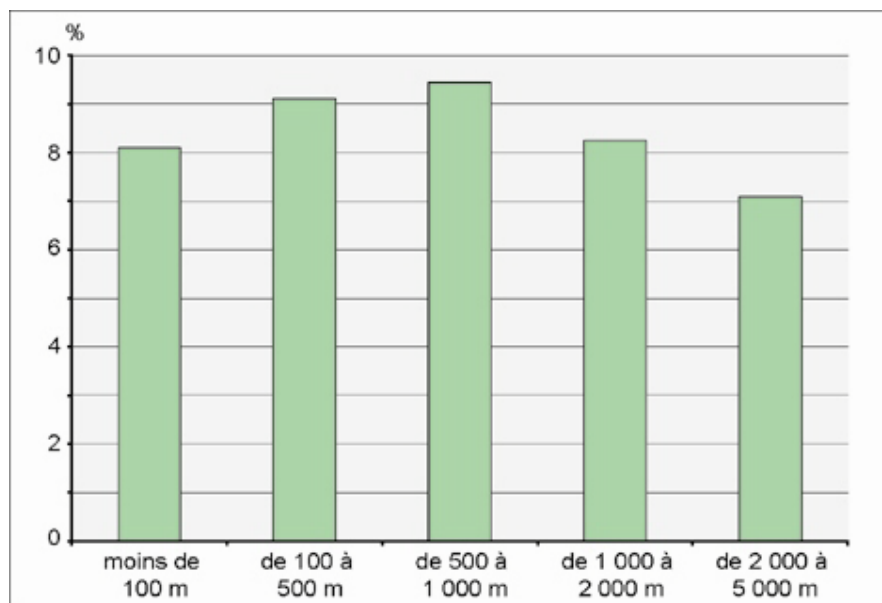


Figure 83 : Part du territoire en déprise agricole dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.

Toutefois ce phénomène ne traduit pas une dynamique récente, car en 1977, la part des forêts et milieux naturels et semi-naturels était bien plus importante au sud de la rade de Brest qu'au nord, ce qui témoignerait d'un abandon ancien des terres agricoles dans la zone côtière de la partie sud du Pays de Brest, ou du moins une mise en culture des terres plus faible.

3.3. Typologie des communes littorales du Pays de Brest en fonction des changements observés entre 1977 et 2003

Afin de synthétiser et de vérifier les observations détaillées plus haut, une typologie des communes littorales du Pays de Brest basée sur les changements d'occupation des sols intervenus entre 1977 et 2003 est proposée en utilisant une classification ascendante hiérarchique (CAH). L'exclusion de la ville de Brest ne donnant pas de résultats significativement différents, cette commune assez particulière a été conservée dans l'analyse.

Les variables retenues pour élaborer cette typologie sont :

- la part de la surface communale ayant évolué de zones naturelles et semi-naturelles à terres agricoles (%Culture),
- la part de la surface communale ayant évolué de terres agricoles à zones artificialisées (%Artif1),
- la part de la surface communale ayant évolué de zones naturelles et semi-naturelles à zones artificialisées (%Artif2),
- la part de la surface communale ayant évolué de terres agricoles à zones naturelles et semi-naturelles (%Déprise).

A l'issue de la CAH, les communes littorales du Pays de Brest ont été réparties dans cinq classes (figure 84) qui expliquent 60,83 % de l'inertie totale.

L'information principale qui émerge de cette typologie est l'opposition entre les communes situées de part et d'autre de l'Elorn. Cette opposition est matérialisée par deux profils de communes modélisés par les types 2 et 5, regroupant les deux tiers des communes étudiées. Au nord, la majorité des communes a un comportement plutôt proche de la moyenne (type 2), avec toutefois un taux de déprise agricole inférieur à la moyenne. Au sud de la rade de Brest, les communes du type 5 ont un taux d'artificialisation inférieur à la moyenne et un taux de déprise agricole supérieur à la moyenne.

Les trois autres types de comportements sont dispersés sur l'ensemble du littoral du Pays de Brest et ne concernent qu'un tiers des communes étudiées. Le type 1, marginal car il ne comprend que trois individus (Plouarzel, Trebabu et Argol), isole des communes dont la part de terres mises en culture est supérieure à la moyenne, tandis que le taux d'artificialisation est inférieur à la moyenne. Les trois communes concernées ne sont pas regroupées géographiquement. Le type 3 regroupe quatre communes caractérisées par une artificialisation supérieure à la moyenne (Lampaul-Plouarzel, Le Relecq-Kerhuon, Brest et Camaret) qui s'est effectuée tant au détriment des terres agricoles que des zones naturelles et semi-naturelles. Les communes de Lampaul-Plouarzel et du Relecq-Kerhuon, de petite superficie et très densément peuplées, ont sensiblement le même profil. Le voisinage immédiat de Brest peut en partie expliquer l'attrait présenté par le Relecq-Kerhuon. Enfin le groupe 4 regroupe neuf communes majoritairement situées au nord de la rade, concernées par une artificialisation au détriment de terres agricoles supérieure à la moyenne.

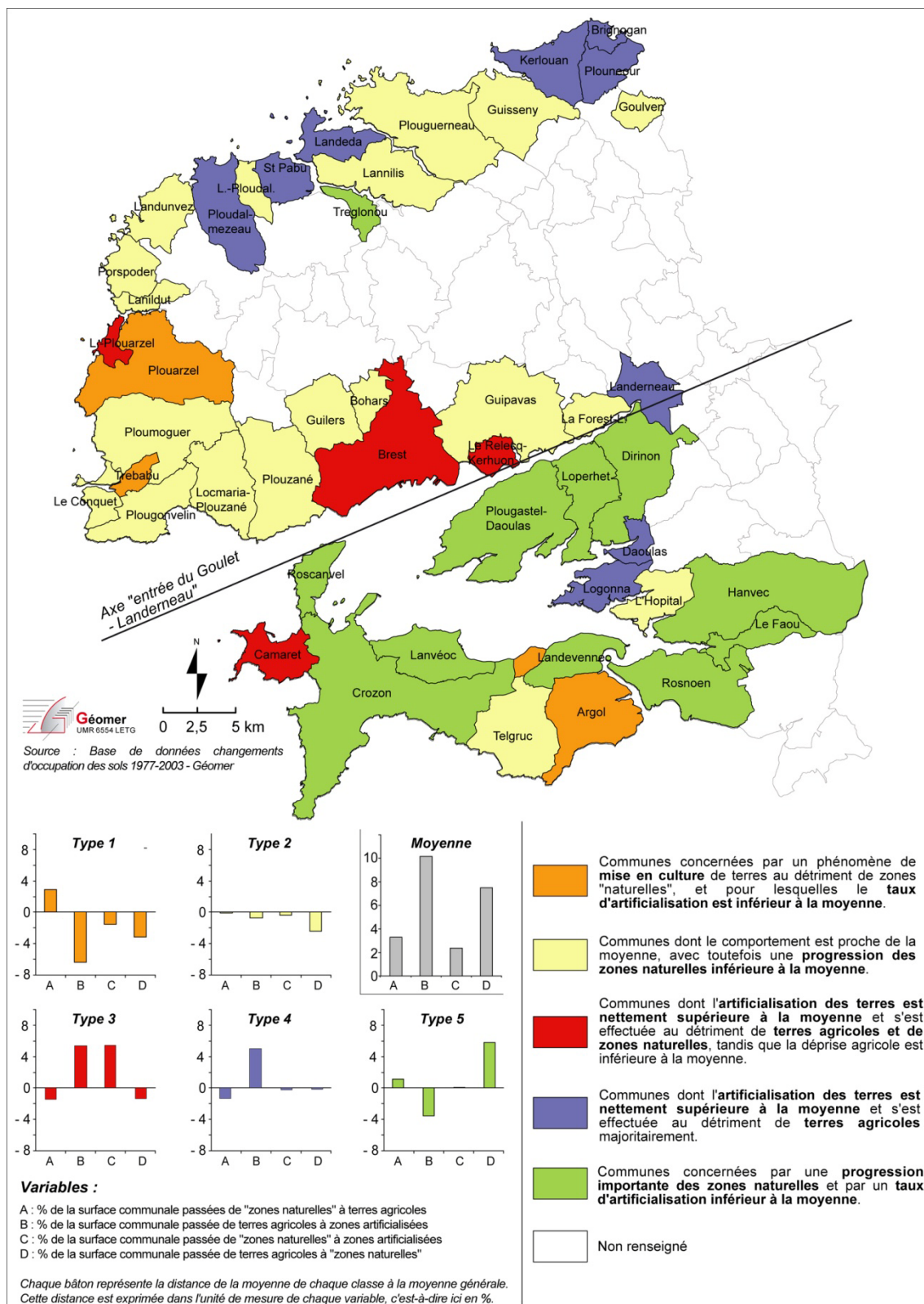


Figure 84 : Typologie des communes littorales du Pays de Brest en fonction des changements d'occupation et d'utilisation des sols entre 1977 et 2003 exprimés en valeur relative.

CHAPITRE 3 – FACTEURS D'ARTIFICIALISATION DE LA ZONE COTIERE DU PAYS DE BREST ENTRE 1977 ET 2003

Avec 49 % des changements observés dans les communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003, l'artificialisation est le processus le plus important en termes de surfaces concernées (12 470 ha), loin devant la déprise agricole (8 840 ha) ou la mise en culture de zones naturelles (3 850 ha). Cette artificialisation se répartit cependant inégalement sur le littoral du Pays de Brest, toutes les communes n'y étant pas soumises avec la même intensité. Il nous a donc semblé pertinent de rechercher et de tester quelques uns des facteurs pouvant expliquer la dynamique d'artificialisation depuis les années 1970.

Après une série de constats relatifs à l'artificialisation, éclairés par des observations de nature socio-économique, plusieurs hypothèses relatives à l'artificialisation de notre zone d'étude ont été formulées. Afin de les valider, ces hypothèses ont été synthétisées sous la forme de variables et d'indicateurs, et ont été croisées avec le taux d'artificialisation. L'objectif est de mettre en évidence les principaux facteurs responsables de l'artificialisation intervenue en 25 ans.

1. Dynamiques de l'artificialisation

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que l'artificialisation était particulièrement forte autour du pôle urbain brestois et à proximité du littoral. L'analyse des dynamiques démographiques du Pays de Brest permet d'éclairer partiellement ces constats. En outre, l'observation détaillée de l'artificialisation met en évidence de nouveaux éléments.

1.1. Dynamiques périurbaines

1.1.1. Précisions sémantiques relatives à la périurbanisation

Depuis les années 1970 en France, le nombre de citoyens quittant les communes urbaines pour s'installer dans les communes périphériques a fortement augmenté, contribuant à l'apparition d'un « exode urbain » (Merlin, 2009) des villes-centre vers les communes alentours, et produisant une projection de la ville sur l'espace rural environnant (Laborde, 2005). Le départ des citoyens vers les espaces ruraux périphériques prend le nom de « périurbanisation » (dont le sens littéral est « autour des villes »), mais les définitions de ce terme divergent légèrement selon les auteurs. Dézert *et al.* (1991) donnent une définition spatiale du terme, qui désigne des espaces subissant l'influence et la croissance de la ville-centre, tout en conservant des activités rurales et agricoles, souvent sur la majorité de leur territoire. La ville-centre est reliée à ces espaces par des voies de communication, et il existe entre eux des relations d'interdépendances très étroites. Merlin (2009) utilise plutôt le terme

« périurbanisation » pour qualifier le mouvement des populations des pôles urbains (villes centres et leurs banlieue) vers les communes classées périurbaines par l'INSEE⁸⁹.

Le terme de « rurbanisation » proposé par Bauer et Roux en 1976 est aussi fréquemment utilisé pour décrire l'éclatement de l'espace urbain vers sa périphérie rurale. Est considérée comme « rurbaine » une commune « proche de centres urbains et subissant l'apport résidentiel d'une population nouvelle, d'origine principalement citadine » (Bauer et Roux, 1976). Merlin et Choay (2009) distinguent « périurbanisation » et « rurbanisation » en intégrant un facteur de distance à la ville-centre. Pour eux, la rurbanisation est « le processus d'urbanisation rampante de l'espace rural, d'imbrication des espaces ruraux et des zones urbanisées périphériques » tandis que la périurbanisation « désigne l'agglomération continue aux franges des agglomérations ». Au regard de ces définitions, nous retiendrons donc le terme de périurbanisation pour désigner l'extension de la ville-centre dans son immédiate périphérie, et réserverons le terme « rurbanisation » aux manifestations spatiales de l'exode urbain plus distantes de la ville-centre (figure 85). Dans les deux cas on observe une occupation discontinue de l'espace (Merlin, 2009).

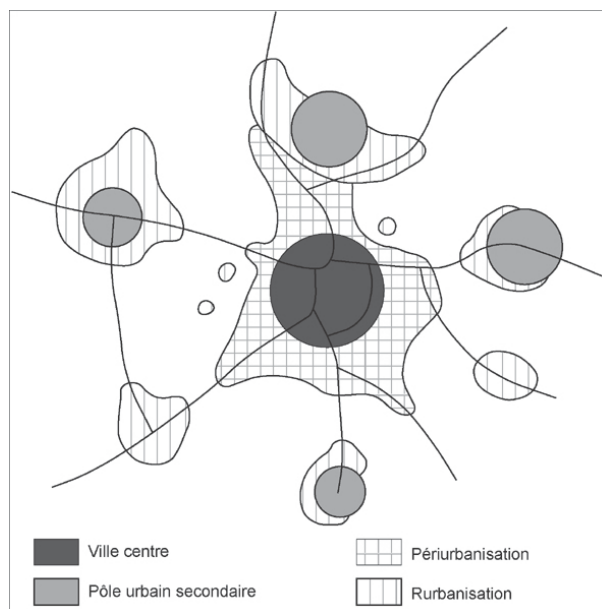


Figure 85 : Périurbanisation et rurbanisation selon Merlin (2009).

1.1.2. La périurbanisation autour de Brest

Comme nous l'avons constaté p.182, l'artificialisation se concentre autour des pôles urbains de Brest et dans une moindre mesure de Landerneau sous la forme de couronnes périphériques. La figure 86 permet de vérifier l'hypothèse d'un phénomène de périurbanisation et de rurbanisation autour de Brest, avec la présence d'une couronne d'artificialisation dans le prolongement immédiat de la ville-centre de 1977.

89. Les communes périurbaines au sens de l'INSEE sont les communes de l'aire urbaine n'appartenant pas au pôle urbain.

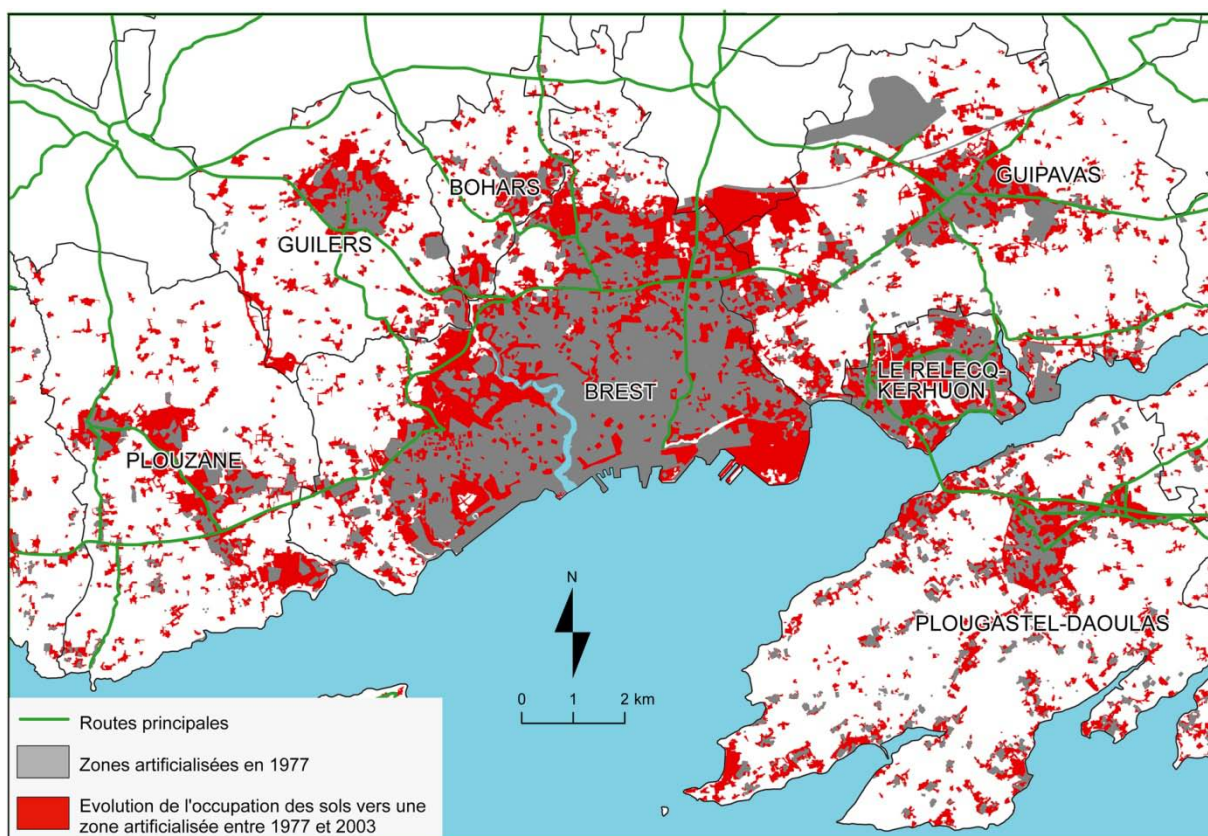


Figure 86 : Evolution de l'artificialisation entre 1977 et 2003 en périphérie de la ville de Brest.

Cette extension de l'artificialisation « en couronne » autour du bâti de 1977 se vérifie aussi pour les communes du pôle urbain (Plouzané, Guilers, Guipavas, Le Relecq-Kerhuon, Plougastel).

L'analyse de l'évolution de la population entre 1975 et 2007 dans le Pays de Brest éclaire ce constat d'un point de vue démographique. Si la ville de Brest fait figure de pôle urbain majeur au niveau régional avec ses 142 700 habitants en 2007 (cf. p.110), elle en a toutefois perdu 24 100 habitants entre 1975 et 2007. Dans le même temps les communes les plus proches du pôle urbain brestois ont connu une très forte progression du nombre de leurs habitants (figure 87a).

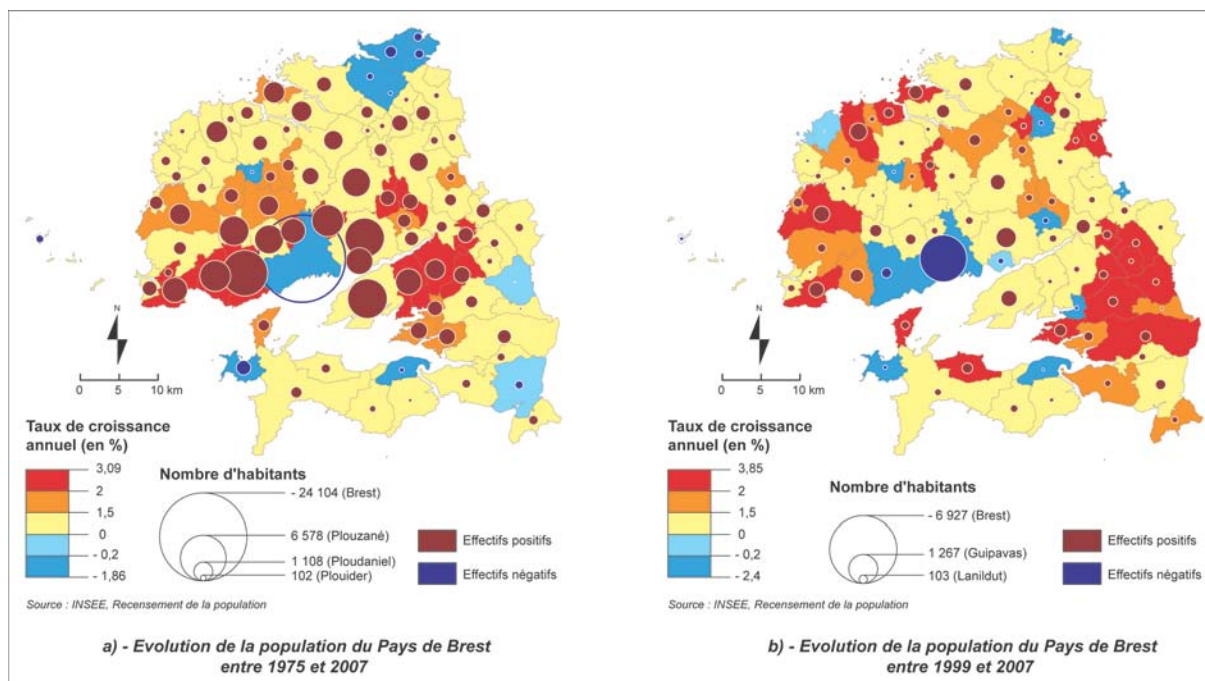


Figure 87 : Evolution de la population du Pays de Brest entre 1975 et 2007.

Sur la période récente 1999-2007, cette fuite démographique s'est étendue aux communes limitrophes de Brest. BMO a perdu environ 4 580 habitants entre 1999 et 2007, essentiellement au profit des autres EPCI du Pays de Brest (figure 87b). En effet, 90 % de son déficit migratoire s'effectue au bénéfice du reste du Pays de Brest (Bargain *et al.*, 2010). Le jeu des migrations internes entraîne une modification de la répartition de la population du Pays de Brest au sein même du territoire. Ainsi la périurbanisation qui avait d'abord touché les communes de BMO autour de Brest⁹⁰ gagne aujourd'hui d'autres EPCI et des communes plus éloignées (figure 87b).

1.1.3. Attractivité des EPCI de la façade atlantique

Les EPCI les plus attractives sur la période récente sont la CCPI et la CCPA, qui forment ainsi un arc nord-ouest ouvert sur l'océan et démographiquement dynamique (figure 87b). Entre 1975 et 1999, le taux de croissance annuel moyen de la population de la CCPI était de 1,41 %, et ce taux est presque inchangé sur la période 1999-2007 (1,46 %), ce qui indique que la CCPI est attractive depuis déjà longtemps (tableau 27). Les taux de croissance de la CCPA sont assez proches de ceux de la CCPI (1,38 % entre 1999 et 2007). Les communes les plus attractives de la CCPI sont situées sur le littoral, qui se trouve à moins de 25 kilomètres de BMO. La distance est suffisamment courte pour rendre ce territoire intéressant aux yeux des ménages, car il permet d'associer un cadre de vie agréable et une relative proximité du pôle urbain à des prix fonciers et immobiliers moins élevés que sur le territoire de BMO. Pour la CCPA, les communes les plus attractives sont situées le long d'un axe Gouesnou-Landeda en passant par Plabennec et Plouvien (figure 87a).

90. Entre 1975 et 2007, BMO sans Brest a un taux de croissance annuel de 1,62 %, soit le plus élevé du Pays de Brest (tableau X).

	Population en 1975	Population en 1999	Population en 2007	Taux de croissance annuel de la population entre 1975 et 1999	Taux de croissance annuel de la population entre 1999 et 2007
BMO	206 668	213 541	208 955	0,14	-0,27
BMO sans Brest	39 842	63 892	66 233	1,99	0,45
Ville de Brest	166 826	149 649	142 722	-0,45	-0,59
CC du Pays d'Iroise	27 814	38 946	43 729	1,41	1,46
CC de Plabennec et des Abers	26 617	33 841	37 748	1,01	1,38
CC du Pays de Lesneven et de la Côte des Légendes	23 318	24 684	25 977	0,24	0,64
CC du Pays de Landemeau-Daoulas	32 329	41 331	44 815	1,03	1,02
CC de l'Aulne Maritime	6 826	6 602	7 327	-0,14	1,31
CC de la Presqu'île de Crozon	16 162	15 816	16 667	-0,09	0,66
Pays de Brest	339 734	374 761	385 218	0,41	0,34

Tableau 27 : Evolution de la population du Pays de Brest par EPCI entre 1975 et 2007.

La CCPLD et dans une moindre mesure la CCAM connaissent également une croissance démographique, induite par la présence de la route à quatre voies RN 165 qui relie Brest à Quimper. Ce secteur est potentiellement attractif car il constitue un compromis acceptable à mi-chemin des deux zones d'emploi. Pour la CCAM cette nouvelle dynamique de croissance est récente, et elle vient inverser une tendance ancienne de perte d'habitants.

Toutes les communes du Pays de Brest ne profitent pas de la croissance démographique induite par la fuite d'une partie des habitants de BMO vers les communes extérieures. La CCPLCL et la CCPC connaissent une croissance démographique plutôt faible (tableau 27). La figure 87 mettent en évidence ces « angles morts » de la croissance de population dans le Pays de Brest. La faible attractivité de ces territoires est sans doute liée à leur éloignement (en temps de trajet en voiture) de BMO qui demeure le pôle d'emploi majeur du territoire.

1.2. Urbanisation littorale

La population des communes littorales du Pays de Brest est largement supérieure à celle des communes de l'arrière-pays, en 1975 comme en 2007 (tableau 28). Toutefois les communes littorales ne semblent pas spécifiquement plus attractives que les autres. En effet le taux de croissance de la population des communes littorales pour la période 1975-2007 est inférieur à celui des communes de l'arrière-pays (0,95 contre 1,46). Pour la période 1999-2007 ces deux taux sont quasiment identiques (0,92 contre 0,94) (tableau 28).

	Population en 1975	Population en 1999	Population en 2007	Taux de croissance annuel de la population entre 1975 et 1999	Taux de croissance annuel de la population entre 1999 et 2007
Communes littorales	288 187	301 795	306 695	0,19	0,20
<i>Communes littorales sans Brest</i>	<i>121 361</i>	<i>152 146</i>	<i>163 973</i>	<i>0,95</i>	<i>0,94</i>
Communes de l'arrière-pays	51 547	72 966	78 523	1,46	0,92
Pays de Brest	339 734	374 761	385 218	0,41	0,34

Tableau 28 : Evolution de la population des communes littorales et de l'arrière-pays du Pays de Brest entre 1975 et 2007.

Pourtant en 2003, les surfaces artificialisées sont proportionnellement plus importantes dans les communes littorales du Pays de Brest (18,8 %) que dans les communes de l'arrière-pays (12,6 %) (cf. p.176). Nous avons également mis en évidence une forte intensité de l'artificialisation sur certaines portions du littoral (cf. p.182, figure 80). Cette artificialisation prend différentes formes : étroite et parallèle au trait de côte (figure 88, exemples 1 et 3), ou diffuse et étalée dans l'espace (figure 88, exemples 2 et 4).

L'analyse infra-communale de l'artificialisation littorale permet donc de mettre en évidence un phénomène de littoralisation. Dézert *et al.* (1991) parlent même de « périurbanisation littorale » comme conséquence de l'attraction de la mer et du rivage. L'attractivité du littoral du Pays de Brest n'est cependant pas perceptible à l'échelle de la commune.

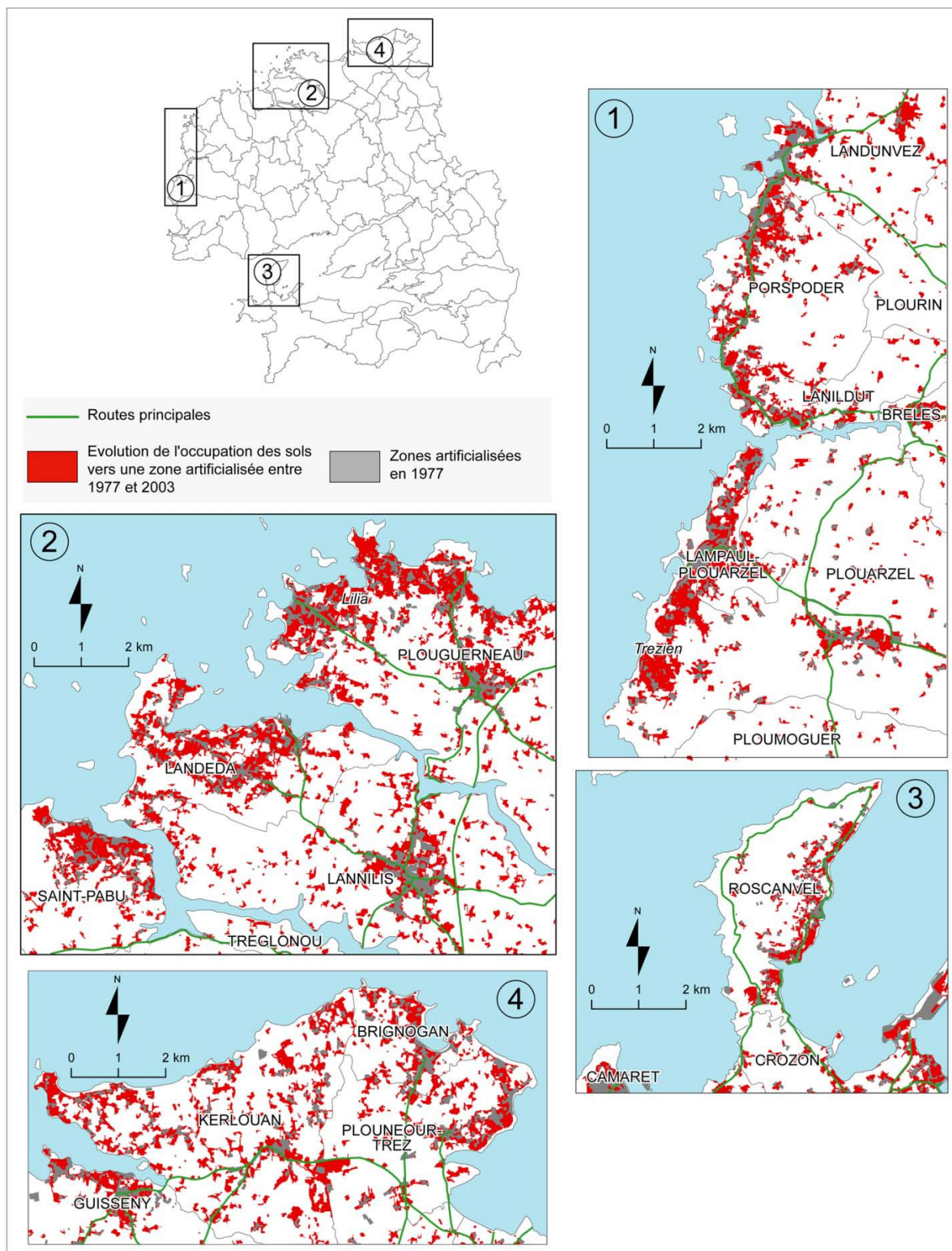


Figure 88 : Exemples d'artificialisation sur le littoral du Pays de Brest.

1.3. Une artificialisation liée à la construction de logements

1.3.1. Progression de la construction de logements

Depuis les années 1990, on observe dans le Pays de Brest une augmentation importante de la construction de logements, avec une préférence marquée pour la résidence individuelle. Toutefois le « raz-de-marée » pavillonnaire n'a pas la même intensité partout. Le territoire de BMO concentre la plus grande partie de la construction de logements soit 41,3 % de la surface cumulée entre 1990 et 2007. Viennent ensuite la CCPI avec 17,3 % des surfaces construites, puis la CCPA et la CCPLD avec respectivement 13 % et 12 %. Enfin viennent la CCPC et la CCPLCL (7,6 %) puis la CCAM (1,2 %) (figure 89b). Les surfaces construites en logements sont un peu plus importantes dans les communes littorales par comparaison avec l'arrière-pays, du moins en ce qui concerne le plateau du Léon (figure 89a).

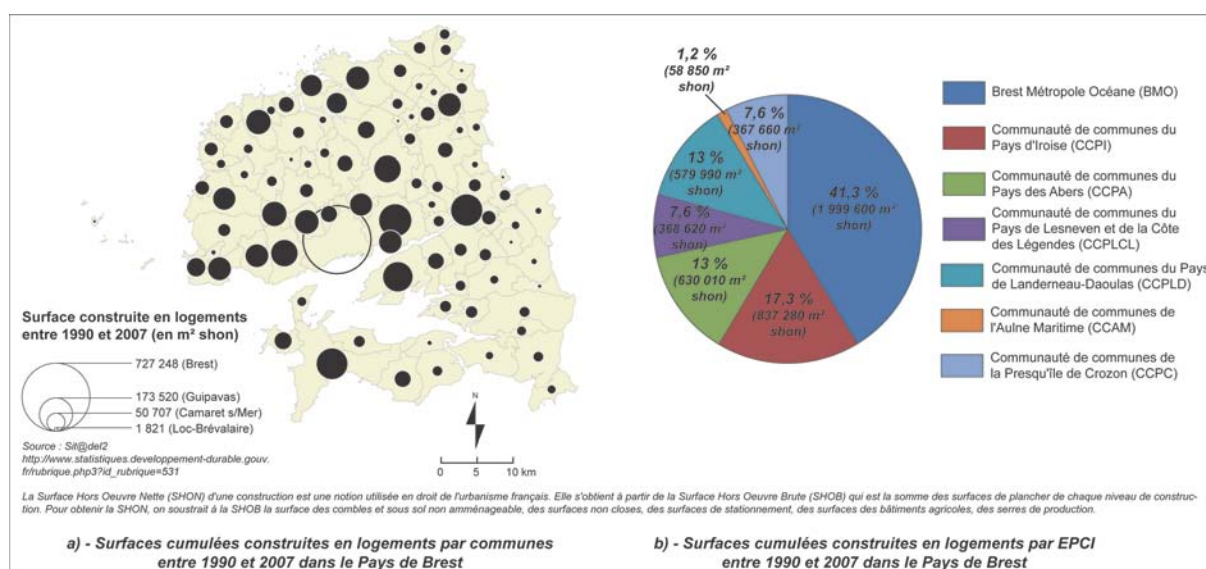


Figure 89 : Surfaces cumulées construites en logements entre 1990 et 2007 dans le Pays de Brest (source : Sitadel).

Le rythme général de construction de logements dans le Pays de Brest semble s'accélérer depuis 2003, et il est plus soutenu dans les communes littorales que dans l'arrière-pays (figure 90).

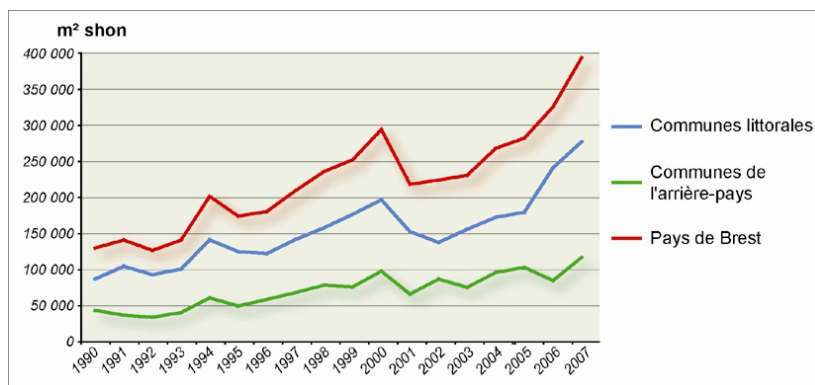


Figure 90 : Evolution des surfaces construites en logements entre 1990 et 2007 dans les communes littorales et l'arrière-pays du Pays de Brest (source : Sitadel).

La majorité des nouveaux logements construits entre 2000 et 2007 dans le Pays de Brest est destinée à être des résidences principales. Seules 5,2 % sont des résidences secondaires (Adeupa, 2008). Ces nouveaux logements sont avant tout des logements individuels, la croissance annuelle moyenne de ces derniers pour la période 1999 – 2006 est supérieure à celle des logements collectifs : 1,6 % contre 1,1 % (Adeupa-CG29, 2010) (figure 91).

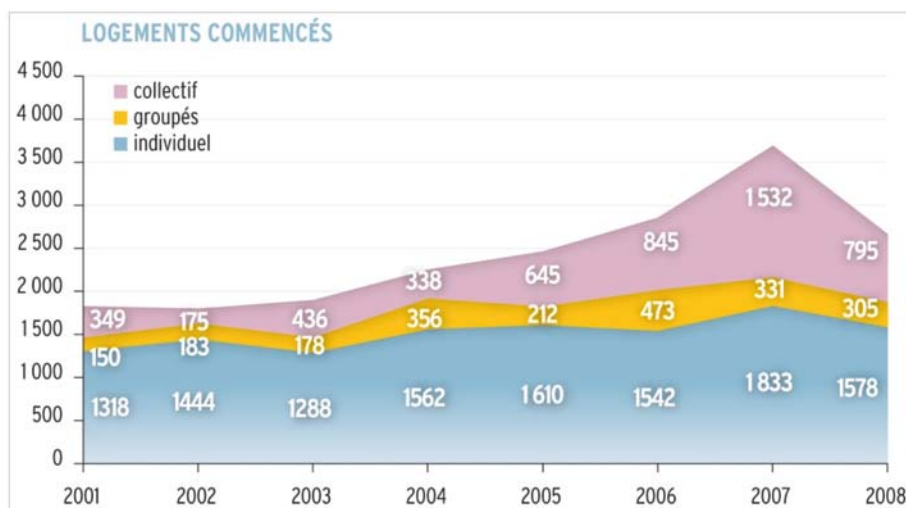


Figure 91 : Evolution du nombre de logements commencés dans le Pays de Brest entre 2001 et 2008 (source : Adeupa, 2009).

Malgré la baisse de population enregistrée par BMO entre 1999 et 2007 (-1,6%), le nombre de logements construits dans la communauté d'agglomération a continué d'augmenter (+ 4,6 %) (Larpen, 2009). Ceci s'explique par une diminution du nombre moyen de personnes par ménage, conséquence d'une tendance de la population au vieillissement d'une part et à la « décohabitation » d'autre part, provoquée par différents facteurs (séparation de couples, départ des enfants de la maison, augmentation du nombre de personnes âgées vivant seules). Le même phénomène est observable dans les autres grands pôles urbains bretons (Bargain *et al.*, 2010). Il est donc nécessaire de disposer de plus de logements qu'il y a trente ans pour loger un même nombre de personnes. Le constat

est valable pour l'ensemble du territoire : entre 1975 et 2007, le nombre moyen de personnes par ménage dans le Pays de Brest est passé de 3,3 à 2,5.

L'engouement pour la construction neuve individuelle est le premier facteur d'une forte consommation des terres, mais également d'une banalisation des paysages. Cependant la construction de nouveaux logements n'est pas seule responsable de la consommation de territoire qui est aussi liée à la création ou à l'amélioration de la desserte routière et à la construction de locaux à vocation non résidentielle.

1.3.2. Forte progression du bâti semi-urbain

L'analyse détaillée de l'artificialisation dans les communes littorales du Pays de Brest permet de vérifier la forte progression du bâti individuel (figure 92).

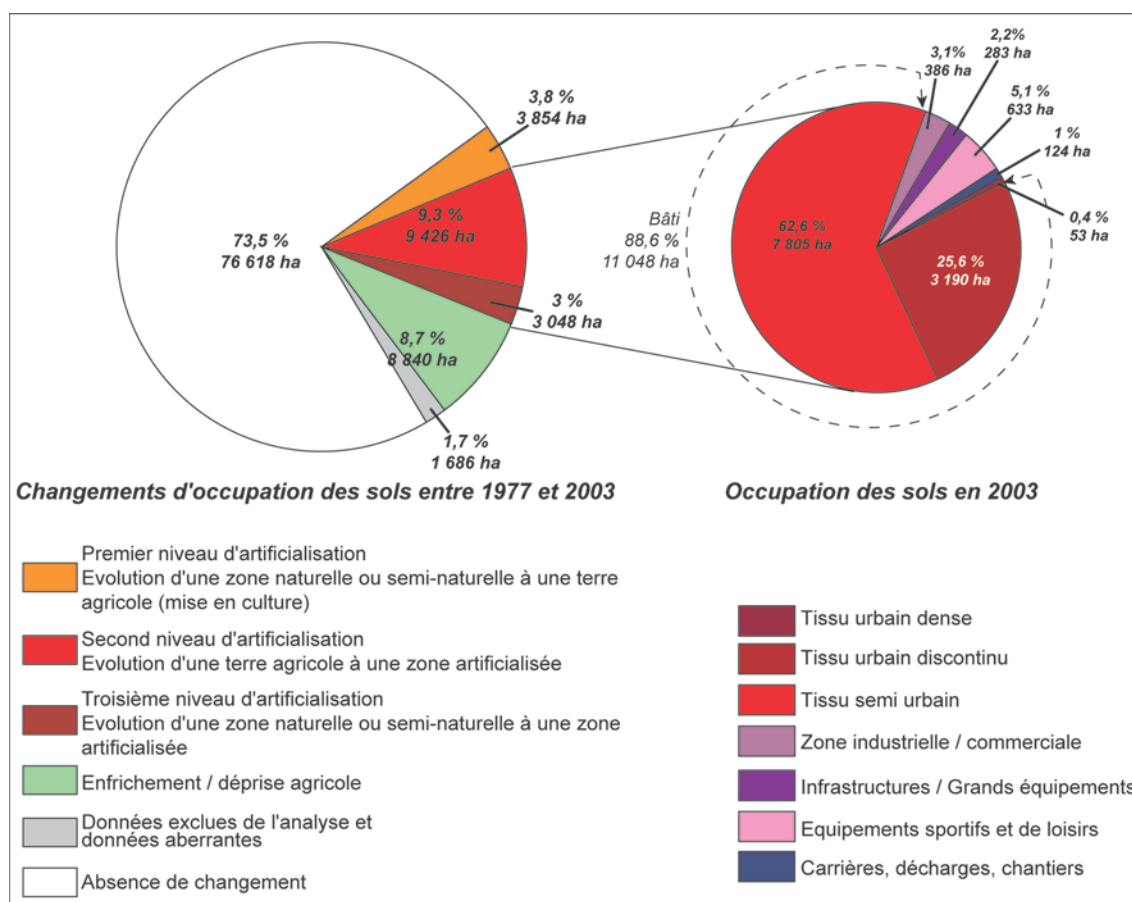


Figure 92 : Détail des zones artificialisées entre 1977 et 2003 dans les communes littorales du Pays de Brest.

88,6 % des zones qui se sont artificialisées entre 1977 et 2003 sont du tissu urbain, donc à vocation résidentielle majoritairement. Les autres types de zones artificialisées (zones industrielles et commerciales, infrastructures et grands équipements, équipements sportifs et de loisirs, carrières, décharges et chantiers) ne représentent que 11,4 % des espaces artificialisés entre ces deux dates. La plus grande part du bâti est qualifiée de tissu semi-urbain, constitué de pavillons individuels entourés de jardins. Or ce type d'urbanisation pose

des problèmes de consommation d'espace et de dégradation du paysage, contre lesquels les aménageurs cherchent à lutter par une planification spatiale visant à rendre la ville plus compacte (Lebahy et Le Délézir, 2006).

1.3.3. Cycles résidentiels et prix du foncier

La répartition et les migrations des habitants du Pays de Brest au sein du territoire obéissent au cycle résidentiel suivant (Bargain *et al.*, 2010). Dans un premier temps, les jeunes actifs ou étudiants s'installent dans les logements collectifs du centre-ville de Brest où ils sont très souvent locataires. Puis dans un second temps la constitution des familles amènent à rechercher un logement plus grand, avec une nette préférence pour la maison individuelle. Ces familles en quête d'un nouveau logement plus adapté à leurs besoins se confrontent alors au marché immobilier local, les ménages les plus aisés s'étant déjà installés dans les secteurs bénéficiant d'un accès rapide au centre-ville. Une autre partie du bâti de BMO immobilisée par des ménages installés depuis longtemps et aujourd'hui en retraite reste inaccessible aux jeunes ménages avec famille. Enfin, les opportunités foncières sur le territoire de BMO, sont faibles car ce territoire peu étendu arrive aujourd'hui à saturation (Bargain *et al.*, 2010). De fait, les terrains encore disponibles à la construction sont souvent trop onéreux en raison de la flambée des prix du foncier dans ces communes fortement convoitées où le prix des terrains à bâtir est deux fois plus élevé que dans le reste du Pays de Brest (figure 93). Ces facteurs contraignent donc de plus en plus les ménages modestes à réaliser leur projet de construction à l'extérieur de l'agglomération, entraînant un débordement de la périurbanisation sur les autres EPCI du Pays de Brest (Bargain *et al.*, 2010).

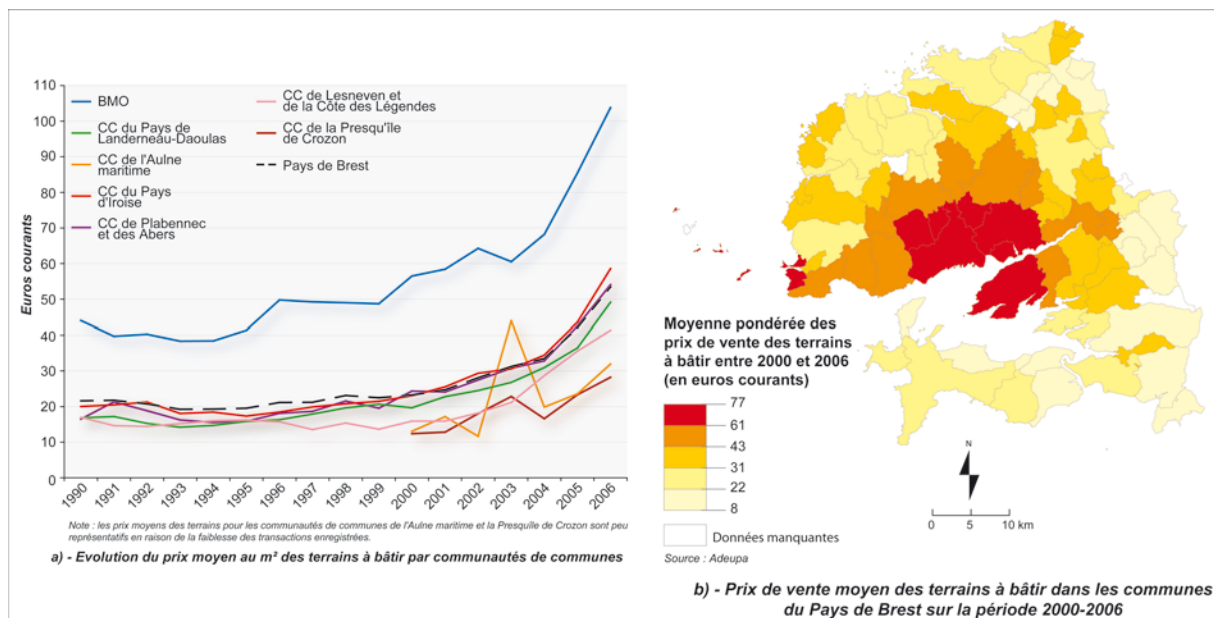


Figure 93 : Evolution du prix moyen au m² des terrains à bâtir dans le Pays de Brest entre 1990 et 2006 (source : DGI / Adeupa).

Le prix du foncier pour la période 2000-2006 n'est pas spécifiquement plus élevé dans les communes littorales que dans les communes de l'arrière-pays (figure 93b). Il paraît donc difficile de parler pour le Pays de Brest de ségrégation sociale empêchant l'accès au littoral des ménages les moins aisés, comme c'est le cas pour les littoraux sud-bretons, ainsi que pour certains littoraux des Côtes d'Armor (Sonnac, 2009 ; Lebahy et Le Délézir, 2006 ; Ollivro, 2011).

1.4. Une artificialisation au détriment des terres agricoles

Les terres agricoles prédominent au sein de la zone côtière du Pays de Brest. En 1977, elles représentaient 69,6 % des communes littorales (70 670 ha). Il est donc logique que l'artificialisation se soit majoritairement réalisée à leur détriment (9 427 ha, soit 37,4 % des changements observés, contre 3 048 ha au détriment des zones naturelles et semi-naturelles, soit 12,1 % des changements constatés).

On constate cependant que la proportion de terres agricoles et de zones naturelles artificialisées entre 1977 et 2003 est sensiblement la même : 13,3 % pour les terres agricoles et 14,1 % pour les zones naturelles et semi-naturelles (figure 94).

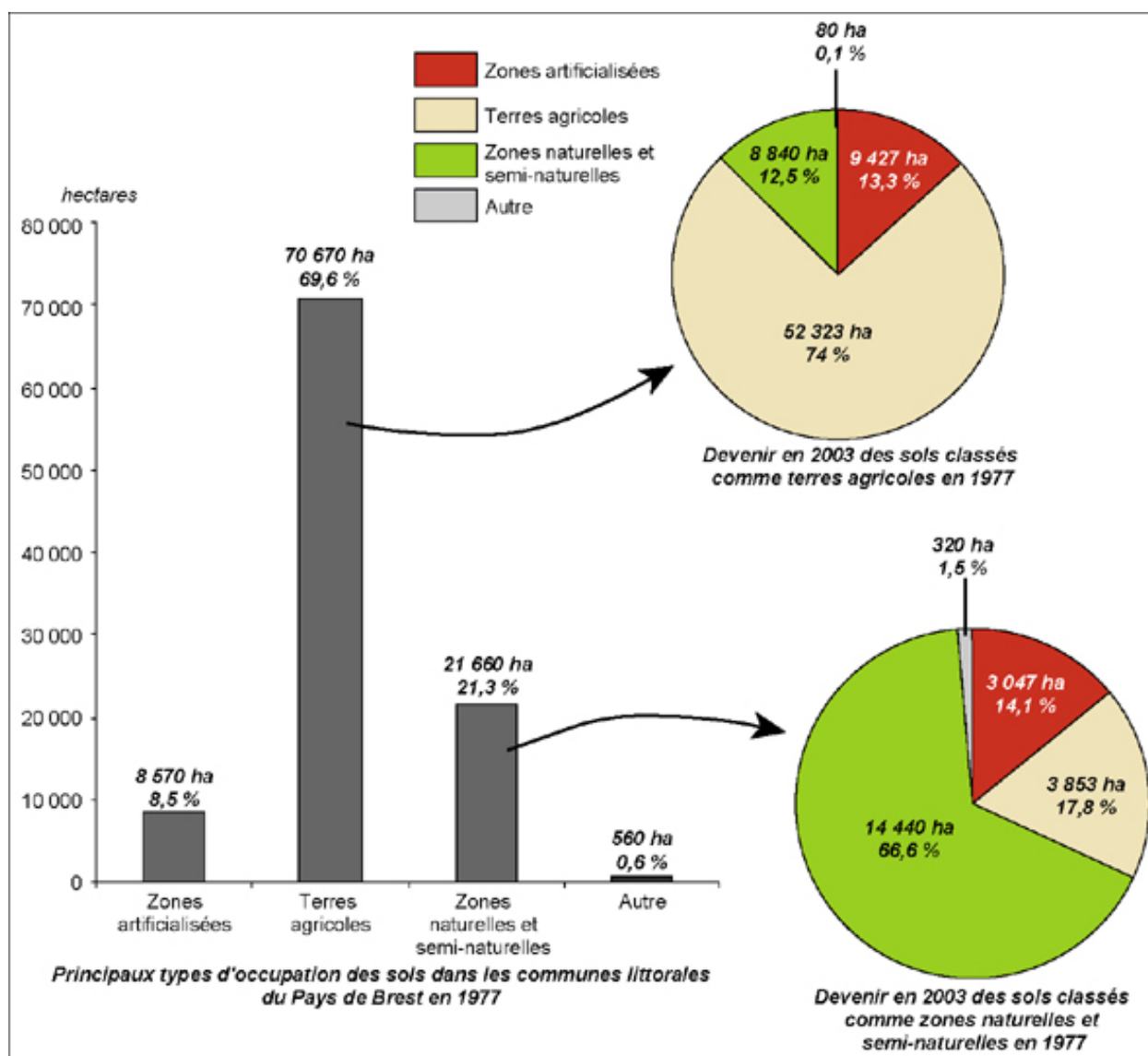


Figure 94 : Devenir en 2003 des terres classées comme « terres agricoles » et « zones naturelles » en 1977.

Les zones naturelles protégées sont nombreuses sur le littoral du Pays de Brest. Leur statut et leur mode de préservation sont très divers, mais dans la plupart des cas, elles sont classées en zone « N » dans les PLU⁹¹. Ces dispositions sont d'autant plus strictes lorsque les zones naturelles et semi-naturelles se situent dans la bande des 100 m protégée de l'urbanisation par la loi Littoral. Dans le Pays de Brest, l'artificialisation a cependant épargné quelques espaces naturels tels que par exemple (figure 95) les dunes de Corn-ar-Gazel (site Natura 2000) et de Sainte-Marguerite (site préempté par le Conservatoire du Littoral) ou les landes de la Pointe de Pen-Hir (site Natura 2000).

91. Les zones naturelles et forestières, dites « zones N » des PLU sont les « secteurs de la commune, équipés ou non, à protéger en raison soit de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique, historique ou écologique, soit de l'existence d'une exploitation forestière, soit de leur caractère d'espaces naturels » (article R. 123-8 du code de l'urbanisme). Les zones N n'autorisent pas la construction de nouvelles maisons d'habitation, ou les soumettent à de très fortes restrictions (article L 123-4 du code de l'urbanisme).

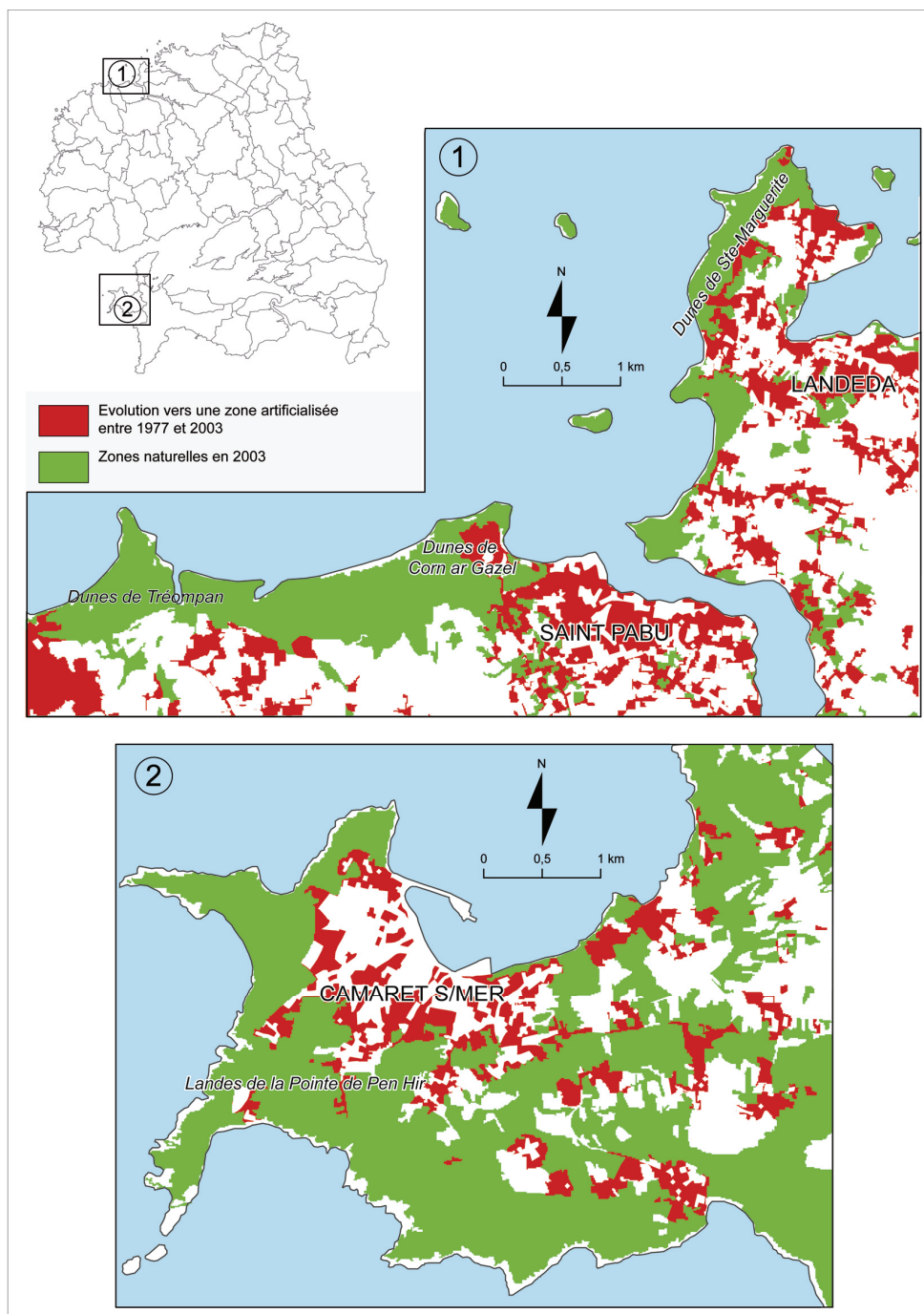


Figure 95 : Exemples de zones naturelles préservées de l'artificialisation sur le littoral du Pays de Brest.

1.5. Le rôle des voies de communication dans la diffusion de l'urbanisation

L'accessibilité est une notion centrale dans la problématique de la périurbanisation et de la rurbanisation qui sont favorisées par l'automobile (Allain, 2004). Les néo-ruraux des espaces périurbains restent le plus souvent des citadins et conservent pour la plupart leur travail en ville. Il en résulte un décalage entre l'activité professionnelle et le choix du cadre de résidence, entraînant d'importantes mobilités liées au travail (migrations pendulaires), rendues possibles par la banalisation de l'automobile (Merlin, 2009). L'accessibilité à la ville

par la densification et l'amélioration du réseau de communication est de fait un élément facilitant leur implantation en périphérie urbaine (Laborde, 2005). Les routes principales jouent alors un rôle privilégié pour la diffusion de l'artificialisation.

Brest (142 700 habitants), pôle d'emploi et de services majeur pour le nord du Finistère, structure, par son influence, l'ensemble du territoire du Pays de Brest. Si les Brestois ont eu tendance à quitter massivement la ville pour les communes voisines entre 1975 et 2007, l'éloignement de Brest doit rester acceptable pour permettre un accès rapide aux emplois, aux commerces et aux services. De fait l'artificialisation tend à se développer à proximité du réseau routier principal, et prend parfois un aspect « en doigt de gant », avec une extension des surfaces bâties de part et d'autre de la route (figure 96).

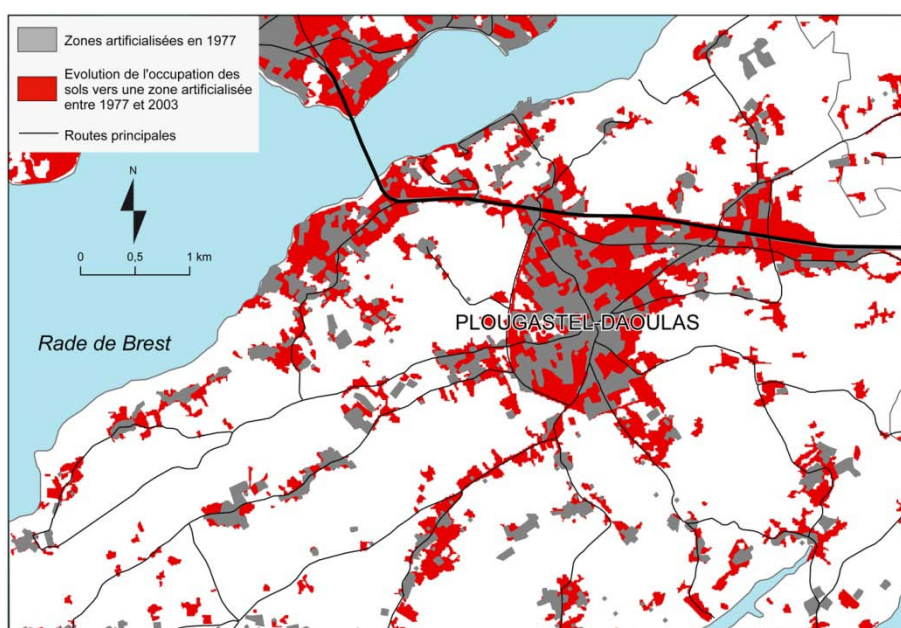


Figure 96 : Un exemple de l'influence des voies de communication pour l'extension de l'artificialisation (commune de Plougastel-Daoulas).

1.6. Une artificialisation contigüe au bâti existant en 1977

Les figures 88 et 96 montrent que l'artificialisation semble se concentrer préférentiellement autour de zones déjà artificialisées en 1977, en périphérie de l'agglomération brestoise, mais également autour des bourgs et des petits hameaux.

Les textes réglementaires relatifs à l'urbanisme en France orientent très largement l'extension des zones artificialisées en continuité du bâti existant. La Loi d'Orientations Foncières de 1967 établissant les principaux documents d'urbanisme régissant l'aménagement local (POS, SDAU) s'inscrivait dans le cadre d'une politique urbanistique visant à limiter le mitage du territoire communal par l'urbanisation, dans le souci de ne pas augmenter inconsidérément les charges de la collectivité en matière d'extension et d'entretien de réseaux (Merlin, 2002). Les nouvelles dispositions réglementaires relatives à l'urbanisme réactualisées dans le cadre de la loi du 13 décembre 2000 relative à la solidarité

et au renouvellement urbain (loi SRU établissant notamment les PLU et les SCOT) ont renforcé cette volonté de limiter la consommation des espaces non urbanisés en inscrivant le développement durable et la limitation de l'étalement urbain au cœur des préoccupations urbanistiques (Martin *et al.*, 2006).

2. Les principaux facteurs des dynamiques d'artificialisation

Les constats exposés ci-dessus amènent à formuler une série d'hypothèses relatives aux dynamiques d'artificialisation dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 également décrites dans Thériault *et al.* (à paraître) où elles ont été testées dans le cadre d'un modèle de diffusion spatiale visant à définir la probabilité de transition d'une zone non artificialisée vers une zone artificialisée. Les hypothèses retenues sont au nombre de six :

- 1°) L'artificialisation se diffuse de proche en proche en périphérie immédiate des zones déjà artificialisées en 1977.
- 2°) Les liens de transport et de communication canalisent le développement urbain dans leur proximité immédiate.
- 3°) L'éloignement de Brest devrait être un facteur limitant pour l'artificialisation.
- 4°) La proximité du trait de côte est attractif et contribue à une artificialisation plus importante.
- 5°) Une augmentation de l'artificialisation traduit une demande immobilière et foncière plus importante sur cet espace, qui devrait entraîner une augmentation des prix du foncier et de l'immobilier.
- 6°) L'augmentation de l'artificialisation se traduit par une augmentation de la population et du nombre de logements construits.

2.1. Méthode

Afin de vérifier ces hypothèses, des variables explicatives et une variable expliquée (artificialisation) ont été définies. Chaque variable explicative a été croisée avec la variable expliquée pour vérifier leur corrélation.

2.1.1. Production d'indicateurs

Les hypothèses relatives à l'artificialisation décrites plus haut ont été transcrites sous la forme de variables de nature « spatiale » (que nous nommerons indicateurs spatiaux) ou « socio-économique » (que nous nommerons indicateurs socio-économiques). Ces deux catégories correspondent à deux échelles de production :

- une échelle « locale » pour les indicateurs spatiaux d'une part, qui correspond à la taille de l'objet ayant changé d'occupation des sols entre 1977 et 2003 et qui s'affranchit de toute limite administrative,

- une échelle communale pour les indicateurs socio-économiques d'autre part, qui est contrainte par le niveau de collecte et la disponibilité des données employées (recensement de la population, prix du foncier).

Les communes pour lesquelles les données de changements d'occupation des sols disponibles couvrent moins de la moitié de la surface communale ont été exclues de l'analyse. Il s'agit de Plouider, Plourin, Plouguin, Brélès, Saint-Renan, Gouesnou, Saint-Urbain et Irvillac.

2.1.1.1. Détermination de la variable expliquée

La variable expliquée concerne l'artificialisation. Elle est obtenue en calculant le taux d'artificialisation, c'est-à-dire en rapportant les surfaces artificialisées entre 1977 et 2003 aux surfaces potentiellement artificialisables entre 1977 et 2003. De fait les espaces déjà artificialisés ou non susceptibles de s'artificialiser en 1977 sont exclus de l'analyse. Ce mode de calcul a pour intérêt de ne pas sous-estimer l'importance de l'artificialisation dans des zones où la proportion de zones artificialisées était déjà conséquente en 1977.

2.1.1.2. Détermination des variables explicatives

2.1.1.2.1. Indicateurs spatiaux

Quatre variables spatiales ont été définies afin de vérifier les quatre premières hypothèses :

- la durée du trajet en automobile depuis Brest,
- la distance à une route nationale ou départementale,
- la distance à une zone déjà artificialisée en 1977,
- la distance à la côte.

Les données employées pour la construction de ces indicateurs ainsi que leur mode de production sont décrits dans le tableau 29. Chacun de ces indicateurs a été produit par géotraitement à l'aide du logiciel ArcGIS.

Indicateur	Couches d'informations utilisées	Source	Méthode de production et résultat
Durée du trajet en automobile depuis le centre-ville de Brest (en minutes)	Réseau routier (Pays de Brest) : routes nationales et départementales	Direction Départementale de l'Équipement	Calcul du temps de trajet nécessaire pour rejoindre le centre-ville de Brest (place de la Liberté) en automobile à partir de n'importe quel point du territoire. Production de 14 zones découpant le territoire en tranches de 5 minutes en fonction des temps de trajet (0-5 mn, 5-10, 10-15 mn, etc jusqu'à 65-70 mn).
Distance au réseau routier principal	Réseau routier (Pays de Brest) : routes nationales et départementales	Direction Départementale de l'Équipement	Construction de zones tampons emboîtées à 250 et 500 mètres de distance des routes principales. Production de 3 zones découpant le territoire en fonction de la distance aux routes : 0-250 m, 250-500 m, plus de 500 m.
Distance au bâti existant	Zones artificialisées en 1977	IPLI-77	Construction de zones tampons emboîtées autour des zones urbanisées en 1977 à 100, 200 et 300 mètres de distance. Production de 4 zones découpant le territoire en fonction de la distance aux zones déjà urbanisées en 1977 : 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, plus de 300 m.
Distance à la côte	Trait de côte	IGN	Construction de zones tampons emboîtées à 100, 250, 500, 750, 1 000, 2 000, 5 000, 10 000 mètres de distance du trait de côte. Production de 9 zones découpant le territoire en fonction de la distance au trait de côte : 0-100 m, 100-250 m, 250-500 m, 500-750 m, 750-1 000 m, 1-2 km, 2-5 km, 5-10 km, plus de 10 km.

Tableau 29 : Mode de production des indicateurs spatiaux

Il résulte de ce traitement quatre couches d'informations correspondant aux quatre indicateurs spatiaux.

2.1.1.2.2. Indicateurs socio-économiques

Pour répondre aux hypothèses 5 et 6, des indicateurs socio-économiques ont été définis.

Pour répondre à l'hypothèse 5, un indicateur concernant le prix du foncier en 2000-2003 est calculé sur la base des données relatives au prix de vente moyen au m² des terrains à bâtir, collectées entre 1990 et 2006 par année et par commune (source Adeupa). Toutefois les données ne sont disponibles de façon exhaustive pour toutes les EPCI du Pays de Brest qu'à partir de 2000. Par conséquent nous avons obtenu l'indicateur décrivant le prix moyen du foncier par commune en calculant la moyenne pondérée par le nombre de transactions réalisées sur la période 2000-2003.

Afin de préciser le lien entre artificialisation et évolution de la population et du nombre de logements (hypothèse 6), neuf indicateurs ont été calculés à partir des données du recensement de la population française fournies par l'INSEE⁹².

92. Les données des recensement de la population française de l'INSEE sont disponibles librement sur <http://www.recensement.insee.fr/accesDonneesTelechargeables.action>.

Les quatre premiers indicateurs concernent l'évolution de la population et de sa densité :

- le taux de croissance de la population par commune entre 1975 et 2006,
- la densité de population communale en 1975 (le nombre d'habitants en 1975 est rapporté à la superficie totale des zones artificialisées en 1977 dans chaque commune),
- la densité de population communale en 2006 (le nombre d'habitants en 2006 est rapporté à la superficie totale des zones artificialisées en 2003 dans chaque commune),
- l'évolution de la densité de population entre 1975 et 2006.

Afin de caractériser le lien entre artificialisation et logements, cinq indicateurs sont retenus pour décrire l'évolution du nombre de logements et leur nature par commune :

- le taux de croissance du nombre de logements entre 1975 et 2006,
- L'évolution du nombre de résidences principales entre 1975 et 2006,
- L'évolution du nombre de résidences secondaires entre 1975 et 2006,
- La proportion des résidences secondaires dans le nombre total de logements en 2006,
- L'évolution de la proportion des résidences secondaires dans le nombre total de logements entre 1977 et 2006.

2.1.2. Mise en relation des variables

Afin de mettre en relation le taux d'artificialisation (variable expliquée) et les indicateurs spatiaux, la couche d'informations des changements d'occupation des sols a été croisée, par une procédure de géotraitement avec le logiciel ArcGIS, avec chacune des quatre couches d'informations correspondant aux indicateurs spatiaux. Il en résulte quatre nouvelles couches d'informations à partir desquelles le taux d'artificialisation a été calculé pour chaque isochrone et chaque zone tampon précédemment définies. Si on prend l'exemple de l'indicateur « distance aux zones bâties en 1977 », le taux d'artificialisation est calculé pour l'intervalle 0-100 m, puis 100-200 m, et enfin 200-300 m.

Les indicateurs socio-économiques étant construits à partir des données du recensement de la population, ils sont exprimés à l'échelle communale. Pour pouvoir croiser la variable expliquée avec les indicateurs socio-économiques, le taux d'artificialisation a donc également été restructuré à cette échelle. La validation des indicateurs a consisté à calculer le coefficient de corrélation « r » entre chaque variable explicative et la variable expliquée par l'intermédiaire d'une analyse bivariable menée avec le logiciel Statistica. La population sur laquelle porte l'analyse bivariable est composée des 46 communes littorales du Pays de Brest pour lesquelles nous disposons d'une couverture spatiale complète des changements d'occupation des sols.

2.2. Résultats

2.2.1. Une artificialisation fortement corrélée à la distance au pôle brestois

Les résultats produits par le croisement de la variable relative à l'artificialisation avec l'indicateur de l'éloignement au pôle d'emploi brestois (en temps de trajet en automobile exprimé en minutes) sont présentés figure 97.

Les secteurs situés à moins de 5 minutes de trajet du centre-ville de Brest (ils se situent pour l'essentiel dans les limites de la commune de Brest) présentent un taux d'artificialisation très largement supérieur aux espaces plus éloignés (82,5 %). Dès que le temps de trajet est supérieur à 5 minutes (c'est-à-dire approximativement les autres communes de BMO), ce taux chute à 26,7 %. Le taux d'artificialisation diminue ensuite régulièrement jusqu'à 25 minutes de temps de trajet, pour ensuite légèrement remonter à une distance comprise entre 25 à 40 minutes de temps de trajet de Brest, ce qui correspond aux communes littorales du nord et de l'ouest du Pays de Brest. Au-delà de 40 minutes, le taux d'artificialisation tombe à 4,4 %, avant de remonter pour les temps de trajet supérieurs à 50 minutes (13,4 % pour la tranche 50-55 minutes). Le « creux » marqué par le taux d'artificialisation entre 40 et 50 minutes de trajet à Brest semble correspondre à l'entrée de la Presqu'île de Crozon, qui fait figure de secteur peu attractif car trop éloigné d'un pôle urbain important. La remontée du taux d'artificialisation au-delà de 50 minutes paraît correspondre au pôle urbain secondaire de Crozon, qui présente un développement indépendant du fait de son éloignement de Brest et de son enclavement du à sa situation de presqu'île.

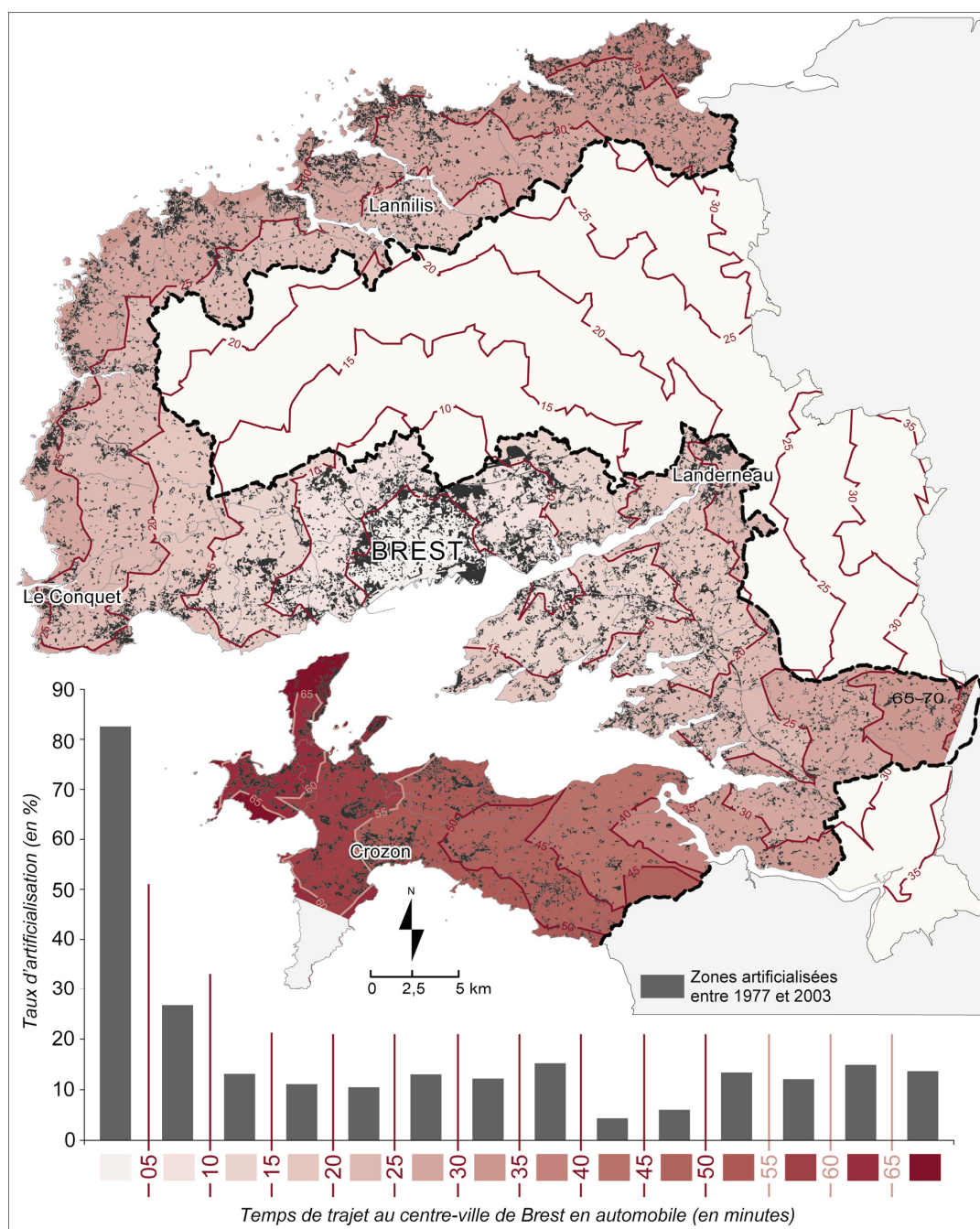


Figure 97 : Taux d'artificialisation en fonction du temps de trajet au centre-ville de Brest.

2.2.2. Une artificialisation concentrée autour de zones déjà artificialisées

Les résultats produits par le croisement de la variable relative à l'artificialisation avec l'indicateur de la distance aux zones artificialisées en 1977 sont présentés figure 98.

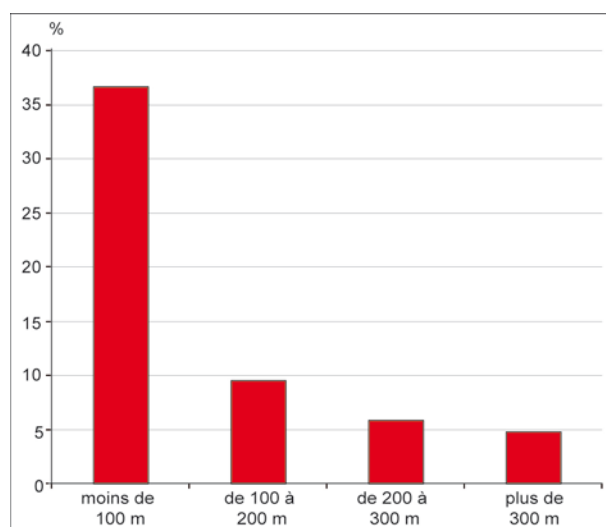


Figure 98 : Taux d'artificialisation en fonction de la distance aux zones déjà artificialisées en 1977.

C'est à moins de 100 m de distance du bâti existant que le niveau d'artificialisation est le plus élevé (36,7 %). Il décroît ensuite très rapidement (le taux d'artificialisation est de 9,6 % à une distance comprise entre 100 et 200 m), puis plus progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bâti existant en 1977 (5,9 % entre 200 et 300 m, et 4,8 % à plus de 300 m de distance). Ces résultats révèlent que l'artificialisation intervenue entre 1977 et 2003 s'est généralement produite en continuité des bourgs et hameaux.

2.2.3. Une artificialisation conditionnée par le réseau de communication

Les résultats de l'analyse du taux d'artificialisation en fonction de la distance aux routes principales (nationales et départementales) montrent l'influence de cet indicateur sur le développement du bâti (figure 99).

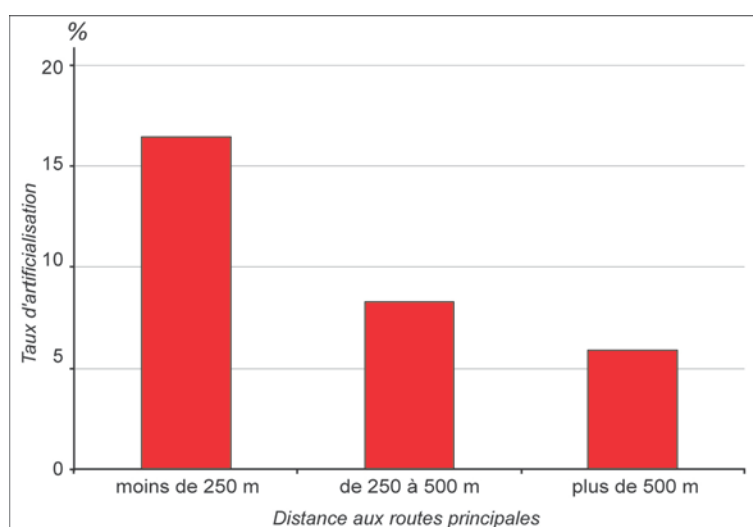


Figure 99 : Taux d'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance aux routes principales (nationales et départementales).

C'est à moins de 250 m de distance d'une route que le taux d'artificialisation, entre 1977 et 2003, est le plus élevé (16,5 %). Ce taux décroît ensuite en fonction de l'éloignement du réseau routier (5,9 % à plus de 500m).

La proximité d'une route principale est donc un facteur important dans l'artificialisation du Pays de Brest. Un terrain situé à proximité d'une route est plus favorable à son artificialisation car il permet de rejoindre rapidement les principaux pôles d'emploi et de services. Notons cependant que la desserte routière du Pays de Brest est dense, et que les zones situées à plus de 500 m de distance d'une route principale sont rares.

2.2.4. La littoralisation

L'artificialisation s'atténue à mesure que l'on s'éloigne du trait de côte (figure 100). Le plus fort taux d'artificialisation (22,3 %) est relevé dans la bande comprise entre 100 et 250 m du trait de côte, suivi de près par la bande de 250 à 500 m. Ceci peut indiquer un report des constructions interdites à moins de 100 m du rivage, témoignant ainsi de l'effet de la loi Littoral. Cet effet est toutefois à nuancer car 16,8 % de la surface couverte par la bande des 100 m ont été artificialisés entre 1977 et 2003. On peut toutefois raisonnablement penser que si cette « contrainte » n'avait pas existé, l'artificialisation aurait été bien supérieure à proximité de la mer... Au-delà de 750 m, l'artificialisation est moins importante et correspond à la moyenne observée pour la zone côtière du Pays de Brest (12,3 %).

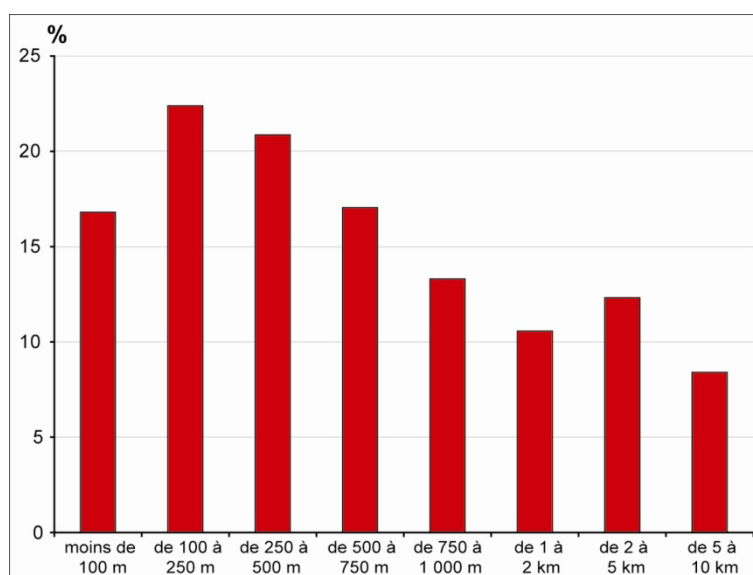


Figure 100 : Part du territoire s'étant artificialisée entre 1977 et 2003 dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.

2.2.5. Le prix du terrain à bâtir, un indicateur de la pression foncière

Il existe une corrélation positive entre le prix moyen des terrains constructibles entre 2000 et 2003 et le taux d'artificialisation ($r = 0,571$) (figure 101). Plus l'artificialisation entre 1977 et 2003 a été importante et plus le prix moyen du foncier entre 2000 et 2003 est élevé.

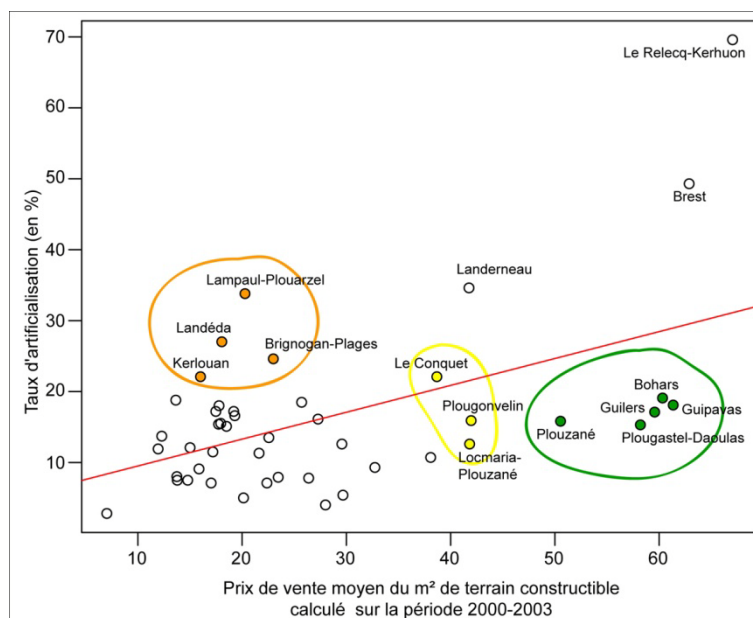


Figure 101 : Relation entre le taux d'artificialisation et le prix moyen des terrains constructibles en 2000-2003.

Le prix du foncier est de fait un indicateur de la pression foncière, puisqu'une artificialisation importante entre 1977 et 2003 provoque son augmentation.

Parmi les communes qui s'éloignent du modèle, on identifie le groupe des communes de BMO (en vert). La position périurbaine de ces communes les rend très attractives, et donc très demandées, à tel point que certaines (Relecq-Kerhuon par exemple) arrivent aujourd'hui à quasi saturation du point de vue de l'espace encore constructible. La pression foncière est également forte sur les communes du Conquet, de Plougonvelin et de Locmaria-Plouzané (en jaune). La demande de terrains constructibles et le niveau élevé des prix du foncier s'expliquent en grande partie par la proximité de la mer et la relative proximité de Brest. Enfin un dernier groupe de communes (Lampaul-Plouarzel, Landéda, Brignogan-Plages, Kerlouan) (en orange) présente un taux d'artificialisation supérieur à 20 %, mais les prix du foncier pour 2000-2003 indiquent que la pression foncière n'est pas si importante que dans les deux groupes précédents, ce qui s'explique par l'éloignement au pôle urbain brestois (selon les isochrones de distance-temps à Brest, elles se situent toutes à au moins 25 minutes de trajet en voiture du centre-ville).

2.2.6. Baisse de la densité de population dans les zones artificialisées

Les coefficients de corrélation « r » entre le taux d'artificialisation et les indicateurs socio-économiques d'évolution de la population et des logements sont présentées dans le tableau 30.

Variable	pc_artif
Niveau d'artificialisation (en %)	1
Croissance de la population communale entre 1975 et 2007 (en %)	-0,037
Densité de la population communale en 1975 (en hab/km ²)	0,037
Densité de la population communale en 2007 (en hab/km ²)	0,224
Evolution de la densité de population entre 1977 et 2003 (en %)	0,249
Evolution du nombre de logements entre 1975 et 2006	-0,051
Evolution du nombre de résidences principales entre 1975 et 2006	-0,036
Evolution du nombre de résidences secondaires entre 1975 et 2006	-0,183
Part du nombre de résidences secondaires en 2006 (en %)	-0,148
Evolution de la proportion de résidences secondaires entre 1975 et 2006 (en %)	-0,182

Tableau 30 : Corrélations entre le taux d'artificialisation et les indicateurs de l'évolution de la population et des logements.

Aucune corrélation significative n'est relevée à l'échelle communale entre l'artificialisation et la population ou les logements. Cela ne signifie toutefois pas qu'il n'existe aucun lien entre l'artificialisation et l'évolution de la population ou l'évolution des logements, mais plutôt que l'échelle communale est inadaptée pour la mise en évidence de ce type de facteurs.

Nous pouvons cependant noter qu'il existe deux corrélations négatives entre l'artificialisation et l'évolution du nombre de logements d'une part ($r = -0,051$), et l'évolution de la population d'autre part ($r = -0,037$). Ces deux corrélations semblent indiquer qu'il existe un certain « étalement » de la population et des logements dans l'espace. En effet nous avons vu p.198 que la progression de l'artificialisation dans le Pays de Brest était en grande partie le fait du bâti semi-urbain constitué de maisons individuelles fortement consommatrices d'espace. Dans le même temps le nombre de personnes par logement diminue en raison de la baisse du nombre d'individus par ménage (cf. p.197). Les communes littorales du Pays de Brest sont donc concernées par un phénomène de déconcentration des logements, avec pour conséquence un étalement de la population et une consommation plus importante de l'espace par habitant.

3. Synthèse

Contrairement aux craintes formulées par les institutions dans le cadre du SCOT du Pays de Brest, le mitage du territoire par l'artificialisation semble être relativement marginal. La diffusion du bâti s'effectue prioritairement en continuité du bâti existant. Cette importante progression du bâti est malgré tout problématique, car elle s'effectue sous la forme de pavillonnaire individuel dans sa grande majorité. De plus la baisse du nombre d'individus par ménage, et donc par logement, impose de disposer d'un plus grand nombre de maisons pour loger un même nombre d'habitants. Dès lors, ce type d'artificialisation apparaît très peu

économe en espace, et pose à moyen terme de nombreuses questions. Toutefois cette situation n'est pas spécifique au Pays de Brest. Elle est au cœur de la planification spatiale locale (Merlin, 2009 ; Di Salvo et Pitaval, 2007).

Le Pays de Brest constitue un territoire singulier dans le contexte breton. C'est un espace fortement polarisé par la ville de Brest, plutôt dynamique du point de vue démographique avec un solde naturel positif. C'est d'ailleurs ce solde naturel qui tire vers le haut la croissance démographique de ce territoire, car le Pays de Brest attire peu de migrants extérieurs, actifs ou non. Dans ce contexte son artificialisation répond à des dynamiques spécifiques, et les observations effectuées sur les littoraux sud-bretons (Finistère-Sud, Golfe du Morbihan) y sont difficilement transposables. On observe dans le Pays de Brest un phénomène de littoralisation, avec une progression des zones artificialisées sur certains secteurs proches de la mer. Le lien entre artificialisation et proximité du trait de côte est net, avec une diminution progression du taux d'artificialisation au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Toutefois le phénomène ne se vérifie pas démographiquement à l'échelle communale, et semble en tout état de cause bien moins important que sur le littoral sud breton.

Il existe des liens entre l'artificialisation et la distance à Brest d'un part, et la distance aux routes principales d'autre part. Dès lors, le rôle du phénomène de périurbanisation dans la dynamique de l'artificialisation du Pays de Brest entre 1977 et 2003 se confirme. Ainsi c'est avant tout la distance et l'accessibilité à Brest, associée à la disponibilité de terrains constructibles et au prix du foncier (indicateur de l'artificialisation), qui semble guider les choix d'installation des ménages, la proximité à la mer apparaissant alors comme un bonus.

Conclusion de la troisième partie

La qualité des données produites par classification orientée-objet de l'image SPOT 5 (2003) est globalement satisfaisante, même si on observe une diminution classique corrélée à la précision typologique de l'occupation des sols (88,6 % au niveau 1, 78,8 % au niveau 2 et 75,3 % au niveau 3). La qualité des données de l'IPLI est également bonne (82,9 %) malgré l'hétérogénéité des résultats obtenus en fonction des classes de la typologie. Le croisement de ces deux couches d'information à un niveau typologique agrégé permet d'obtenir des données relatives aux principaux changements d'occupation des sols intervenus dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003 d'une bonne qualité générale (84,9 % d'objets bien classés). Toutefois ce résultat ne prend en compte ni la production d'artefacts liés à la superposition de données aux modes de production hétérogènes ni le risque de surestimation des changements inhérents à la méthode post-classificatoire.

L'analyse de la répartition des principaux types d'occupation des sols fait apparaître pour 1977 une différence marquée entre les EPCI situées de part et d'autre de l'Elorn. Cette différence tend à se confirmer, voire même à se renforcer en 2003. Dans les communes littorales du Léon (au nord de la rade de Brest et de l'Elorn), les terres agricoles sont très largement prédominantes tandis que la proportion de zones naturelles et semi-naturelles est plutôt faible. Dans les communes littorales du sud, la proportion de zones naturelles et semi-naturelles est plus importante ce qui, même si les terres agricoles demeurent prédominantes, témoigne d'une activité agricole plus réduite. En 1977 comme en 2003, la proportion des zones artificialisées est relativement équivalente dans les communes littorales de toutes les EPCI. La CC de l'Aulne maritime présente cependant un taux d'artificialisation inférieur à celui des autres communes littorales, tandis que la communauté urbaine de BMO se distingue par l'importance de son artificialisation.

Cette dichotomie nord-sud se vérifie pour les changements d'occupation des sols observés entre 1977 et 2003. Au nord, les communes littorales ont connu une forte artificialisation au détriment des terres agricoles, avec un taux de progression des zones naturelles et semi-naturelles plutôt inférieur à la moyenne du Pays de Brest. Au sud, les zones naturelles et semi-naturelles ont connu une progression supérieure à la moyenne qui traduit une déprise agricole plus importante. Mais sur l'ensemble du Pays de Brest, le changement prédominant est bien l'artificialisation, qui s'est majoritairement effectué au détriment des terres agricoles. La répartition spatiale de ces changements révèle une plus forte intensité de l'artificialisation en périphérie des deux principales agglomérations, à savoir Brest et Landerneau. Elle prend la forme d'une couronne périurbaine en marge des espaces déjà urbanisés en 1977. On observe également une artificialisation importante autour des bourgs appartenant à BMO, révélant l'attrait exercé par la ville de Brest pour le choix du lieu d'habitation. L'artificialisation est également forte à proximité du littoral, où elle prend dans le nord et à l'ouest la forme d'un ruban parallèle au trait de côte.

La progression des zones naturelles et semi-naturelles est la seconde cause de changement d'occupation des sols. Elle témoigne sans aucun doute d'une certaine déprise agricole, marquée par l'enfrichement des parcelles dont la culture est abandonnée. Cette déprise prend un caractère plus marqué dans les communes littorales du sud, où la proportion de zones naturelles et semi-naturelles était déjà importante en 1977. La déprise agricole

pourrait donc n'être que le prolongement d'une tendance, engagée depuis déjà plusieurs décennies, à un recul progressif de l'activité agricole pour des raisons historiques, culturelles, techniques... Enfin la mise en culture de nouvelles terres agricoles est un phénomène relativement marginal.

Afin d'identifier les principaux facteurs de l'artificialisation intervenue dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003, six hypothèses ont été formulées. Elles ont ensuite été synthétisées sous la forme de variables et d'indicateurs (variables explicatives), puis croisées avec le taux d'artificialisation (variable expliquée). Les résultats obtenus donnent des indications sur les moteurs de l'artificialisation. Le territoire du Pays de Brest est fortement polarisé par la présence de la ville de Brest, qui concentre un nombre important d'emplois et de services. Si le nombre de Brestois a fortement diminué depuis 1975, les communes périurbaines ont vu leur population, et donc leur niveau d'artificialisation, augmenter. En effet, le temps de trajet nécessaire pour rejoindre le centre-ville de Brest est un facteur décisif pour l'artificialisation. Les communes périphériques de BMO, situées à moins de 10 minutes en voiture du centre-ville, sont celles qui se sont le plus artificialisées entre 1977 et 2003. En outre l'éloignement du réseau routier principal constitue un facteur limitant pour l'artificialisation, ainsi que l'éloignement de zones déjà artificialisées en 1977. Le taux d'artificialisation à moins de 100m d'une zone construite en 1977 est de 36,7 %, contre seulement 4,8 % quand on s'en éloigne de plus de 300 mètres. La dispersion du bâti et le mitage du territoire ne sont donc pas la règle en matière de développement des surfaces artificialisées, contrairement à certaines craintes formulées dans le SCOT du Pays de Brest. Cette continuité spatiale dans l'artificialisation témoigne également de l'efficacité des règles d'urbanisme (au niveau des PLU et des SCOT) qui privilégient la construction de nouveaux logements dans le prolongement des zones déjà urbanisées afin de maîtriser la consommation de l'espace. A l'instar des observations effectuées sur le littoral métropolitain ou breton, l'artificialisation du Pays de Brest est très majoritairement le fait de la construction de pavillons individuels. Or ce type d'artificialisation est consommateur d'espace, comme le confirme la baisse de la densité de population au regard des surfaces artificialisées dans les communes littorales.

La littoralisation de l'artificialisation ressort nettement, avec un taux d'artificialisation élevé dans la zone située entre 100 et 750m du trait de côte. L'artificialisation plus faible dans la bande située à moins de 100m, peut traduire l'application de la loi Littoral en 1986. Elle est toutefois bien présente, témoignant de constructions antérieures, de dérogations ou encore d'erreurs dans les données de changements. A l'échelle des communes littorales du Pays de Brest, les zones naturelles paraissent relativement préservées de l'urbanisation (3 040 ha sur un total de 21 660 ha, soit 14,1% des zones naturelles et semi-naturelles en 1977 ont été artificialisées depuis 1977). Enfin les zones pour lesquelles le taux d'artificialisation est important ont connu une augmentation du prix moyen des terrains à bâtir. Le prix du foncier constitue de fait un indicateur pertinent de la pression foncière.

Conclusion générale

La finalité principale de ce travail était de contribuer à la connaissance des dynamiques territoriales récentes de la partie terrestre de la zone côtière, appliquée au territoire du Pays de Brest. Les pressions anthropiques croissantes exercées sur cet espace entraînent en effet des modifications locales de l'occupation des sols. Dans un contexte plus général, l'acquisition d'informations relatives aux changements d'occupation des sols à une échelle locale enrichit la connaissance de la zone côtière, et fournit la base nécessaire à l'élaboration de modèles prédictifs ou prospectifs.

Pour étudier les changements d'occupation des sols en zone côtière, à une échelle compatible avec les diagnostics territoriaux établis à l'échelle locale, il est nécessaire de disposer de données à haute résolution et de pouvoir analyser les évolutions sur un laps de temps significatif. Cependant, avant les années 1980, les seules données à haute résolution exploitables pour l'étude de l'occupation des sols sont les photographies aériennes, même si leur exploitation repose sur des méthodes de photo-interprétation, laborieuses et difficilement automatisables. Depuis les années 2000, des images à haute ou très haute résolution provenant de capteurs satellitaires sont accessibles et exploitables dans un contexte opérationnel pour analyser ces changements à des pas de temps réguliers. De plus, le recours à la classification d'image par une approche orientée-objet et en procédant à l'ajout de critères de classification contextuels permet théoriquement de se rapprocher d'une démarche de photo-interprétation. Ainsi, pour analyser les changements d'occupation des sols sur plusieurs décennies, l'exploitation de données hétérogènes a été retenue.

Sur notre terrain d'étude, le Pays de Brest, nous avons utilisé l'IPLI-77 et la classification orientée-objet d'une image SPOT 5. Le recours à l'IPLI s'est imposé pour disposer d'un état dans les années 1970, car il s'agit de la seule donnée de référence disponible à cette époque sur l'ensemble du littoral français, qui plus est à une échelle proche de celle de la gestion locale des territoires (1/25 000). Après évaluation de ses potentialités au niveau sémantique et géographique, la qualité globale de l'IPLI apparaît satisfaisante (82,9 % d'éléments bien classés). Le résultat de l'analyse orientée-objet entreprise sur l'image SPOT 5 permet de décrire finement l'occupation des sols en 2003, à trois niveaux de précision. La qualité de cette classification est également satisfaisante, particulièrement au niveau de précision le plus agrégé (88,6 % d'éléments bien classés). L'analyse combinée de l'IPLI et des données issues du traitement de SPOT 5 décrit les principales évolutions de l'occupation des sols du littoral du Pays de Brest entre 1977 et 2003. Elle montre à la fois une artificialisation sensible – notamment aux abords de l'agglomération brestoise et sur le littoral – et un enrichissement de terres agricoles, témoins d'une mutation importante de ce territoire.

Les données ainsi produites mettent donc en évidence le rôle moteur de l'artificialisation dans Pays de Brest à cette période. Nous avons donc cherché à identifier quelques uns des facteurs de cette artificialisation, en nous basant sur l'observation fine des résultats obtenus et notre connaissance du terrain. Pour ce faire, une série d'hypothèses a été formulée, puis ces hypothèses ont été synthétisées sous la forme de variables et d'indicateurs. Le

croisement de ces variables explicatives avec le taux d'artificialisation (variable expliquée). Il apparaît alors que l'intensité de l'artificialisation est fonction de la distance à la ville de Brest, la distance au bâti existant en 1977, la distance aux voies de communication, la proximité du littoral. Le prix du foncier constitue un indicateur pertinent de la pression exercée par l'artificialisation. Enfin, l'artificialisation s'effectuant majoritairement sous la forme de tissu semi-urbain constitué de maisons individuelles, on observe une tendance à l'étalement urbain et à la baisse de la densité de population corrélée à une augmentation de la consommation des surfaces disponibles.

Au regard des résultats obtenus, l'utilisation de données hétérogènes pour produire une information relative aux changements d'occupation des sols est donc tout à fait envisageable, à condition de procéder à une évaluation quantitative et qualitative de la qualité des données utilisées et des données produites.

La démarche adoptée dans le cadre de ce travail comporte toutefois un certain nombre de limites.

La procédure de classification orientée-objet retenue pour la production d'une information actualisée décrivant l'occupation des sols est complexe dans la mesure où elle intègre différents niveaux d'analyse hiérarchisés et qu'elle implique une connaissance experte des objets et de nombreux tests nécessaires à la détermination des paramètres de segmentation. Ces paramètres sont en outre variables d'une image à l'autre, et spécifiques aux résultats attendus. Les concepts de segmentation multi-résolution et de réseau hiérarchique de classification peuvent être difficiles à traduire concrètement, et malgré une phase de réflexion, l'implémentation peut ne pas forcément aboutir aux résultats escomptés. Si l'on ne dispose pas de données préalables sur les objets, la collecte d'informations pour la formulation des multiples fonctions statistiques d'appartenance et la définition de règles de connaissance satisfaisantes peut également se révéler très longue. Une investigation systématique des très nombreuses informations disponibles sur les objets, ponctuée par de nombreux tests et ajustements, est en effet souvent nécessaire. La « complexité » de la méthode à mettre en œuvre est cependant largement compensée par l'homogénéité du traitement appliqué à l'image, ainsi que par sa reproductibilité potentielle.

En outre le choix d'utiliser une carte thématique comme donnée de référence a des conséquences sur la qualité des données de changements produites. La qualité de l'IPLI n'ayant pas été évaluée lors de sa production, nous avons procédé à cette évaluation à partir de photographies aériennes datant de 1978. Or cette étape introduit de nouveaux biais amenant à considérer les résultats obtenus avec prudence. En effet les points de validation ayant servi à élaborer la matrice de confusion et donc évaluer la qualité de la donnée ont eux-mêmes été photo-interprétés (faute de données de terrain disponibles à cette date), ajoutant notre propre subjectivité à celle du photo-interprète de l'IPLI en 1977. De plus la qualité sémantique de certaines classes de la typologie IPLI-77 est discutable (tissu mixte, espace en mutation). Par conséquent la comparaison post-classificatoire des deux sources de données présente un risque cumulatif d'erreurs non négligeable, et n'autorise donc pas à détailler les changements observés dans notre zone d'étude.

Les deux sources de données IPLI et SPOT 5 ont fait l'objet d'un important travail préalable portant sur leur harmonisation typologique et géométrique. L'utilisation de l'orienté-objet n'a pas permis de réduire significativement l'écart sémantique entre les deux typologies, la faute certainement à un niveau d'agrégation trop important et à la définition peu précise de certaines catégories de la typologie IPLI.

Une autre limite réside dans les problèmes géométriques liés à la superposition imparfaite des deux jeux de données et aux artefacts ainsi créés. La qualité globale de la couche d'information des changements d'occupation des sols restant satisfaisante (84,9 %), nous n'avons pas jugé nécessaire de procéder à une fastidieuse correction manuelle de ces artefacts. Toutefois la méthode retenue pour l'évaluation de la qualité de l'information relative aux changements est sommaire. L'identification des changements d'occupation des sols par croisement de données hétérogènes nécessite théoriquement de faire la part des changements réels et celle des artefacts liés à l'emploi de méthodes de production des données différentes. On peut donc légitimement penser que la qualité de l'information relative aux changements est inférieure à celle indiquée par notre évaluation.

Enfin les indicateurs utilisés pour l'analyse de l'artificialisation ne sont pas exhaustifs, et ne constituent qu'une première approche dans la compréhension des dynamiques de l'artificialisation via l'étude de quelques facteurs géographiques. L'étude préliminaire menée ici n'a pas permis de hiérarchiser les facteurs d'artificialisation mis en évidence.

A l'issue de cette étude et de l'analyse de ses limites, plusieurs perspectives de recherche d'ordre méthodologique et thématique sont envisageables.

Le nombre de classes retenu dans la comparaison entre les données de 1977 et 2003 est volontairement faible afin de limiter le risque d'erreurs d'interprétation. Les données produites ne permettent donc qu'une description très générale des principaux changements d'occupation des sols. De fait une analyse plus locale de certains secteurs ou communes distinguant un plus grand nombre de catégories d'occupation des sols permettrait de décrire plus précisément la nature des changements mis en évidence.

Une des principales limites de cette étude réside dans l'emprise spatiale de la zone étudiée. En effet seules les communes littorales du Pays de Brest ont été prises en compte. Cette limite nous a été imposée par l'utilisation des données de l'IPLI. Or la compréhension d'un territoire tel que le Pays de Brest ne peut faire abstraction des dynamiques territoriales de l'arrière-pays. La production d'informations sur les changements d'occupation des sols dans le Pays de Brest dans sa totalité permettrait d'améliorer la compréhension des dynamiques spatiale en fournissant à l'analyse des informations supplémentaires.

Par ailleurs, l'influence de certains événements a pu être déterminante dans l'évolution de l'occupation des sols : décentralisation, loi Littoral, intégration de la notion de développement durable dans les principes d'aménagement du territoire, etc. De plus l'analyse diachronique que nous avons menée ne remonte qu'à 1977. Or c'est dans l'immédiat après-guerre que la Bretagne a connu la profonde mutation qui va la faire « entrer dans la modernité » : modernisation de l'agriculture, développement des infrastructures, urbanisation, tourisme, etc. Pour être à même de rendre compte de ces phénomènes et de leur traduction sur l'occupation des sols, il conviendrait d'élargir la couverture temporelle de notre étude

jusqu'aux années 1950 en intégrant d'autres données notamment extraites de photographies aériennes anciennes. L'intégration d'états intermédiaires dans l'analyse diachronique permettrait également d'affiner la connaissance de l'évolution de l'occupation des sols, et de rendre alors compte de trajectoire de changements.

L'essentiel des facteurs de l'artificialisation étudiés sont de nature géographique. L'emploi de nouvelles sources de données numériques (Référentiel à Grande Echelle (RGE) de l'IGN, cadastre numérique) rendrait possible la mise en évidence de nouveaux facteurs de l'artificialisation dans les communes littorales du Pays de Brest, d'autant plus que ces données numériques constituent de nouveaux supports de réflexion pour la planification spatiale locale. En outre des traitements statistiques complémentaires menés sur les facteurs de l'artificialisation permettrait de déterminer le poids respectif de ces facteurs et d'enrichir l'analyse. L'utilisation d'un plus grand nombre d'indicateurs socio-économiques, politiques, environnementaux, à différentes échelles (parcellaire, communale, intercommunale, régionale) serait également à envisager.

Enfin l'analyse des facteurs susceptibles d'expliquer l'évolution récente de l'occupation des sols dans le Pays de Brest n'a porté que sur l'artificialisation. Un élargissement de la réflexion aux autres dynamiques mises en évidence (déprise agricole notamment) doit être envisagé. Cette réflexion permettrait de proposer un modèle de fonctionnement intégré de la zone côtière du Pays de Brest pour la période 1977-2003, constituant une première étape vers une démarche prospective, et la formulation de scénarios d'évolution.

Références bibliographiques

- Adeupa, 2008. *SCOT du Pays de Brest*. Adeupa / Pays de Brest, <http://www.pays-de-brest.fr/documents-du-scot.php>.
- Adeupa, 2009. *Brest, dynamiques métropolitaines de l'espace Loire-Bretagne*. Adeupa de Brest, 28 p.
- Adeupa-CG 29, 2010. *Population et modes de vie en Finistère - Atlas 2010*. Adeupa de Brest, Conseil Général du Finistère, 108 p.
- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R. et Rockström, J., 2005. Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, vol.309, n°5737, pp.1036-1039.
- Aguejdad, R., Hubert-Moy, L. et Clergueau, P., 2006. *Object oriented image analysis for mapping urban expansion in western France*. Denver, USA, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, pp.2317-2320.
- Aguejdad, R., Hubert-Moy, L., Lalau-Keraly, A., Malle, J. et Viel, R., 2009. Estimation de l'évolution de l'artificialisation des terres à l'échelle départementale par télédétection : le cas de l'Ille-et-Vilaine. *Photo-interprétation - European Journal of Applied Remote Sensing*, vol.45, n°2009 / 1, pp.23-32.
- Allain, R., 2004. *Morphologie urbaine : géographie, aménagement et architecture de la ville*. A. Colin, Paris, 254 p.
- Andrieu, J. et Mering, C., 2008. Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum au Rio Geba. *Télédétection*, vol.8, n°2, pp.93-118.
- Arino, O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R. et Weber J-L., 2008. *Globcover, the most detailed portrait of Earth*. European Space Agency, Bulletin n°136, 8.p. http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin136/bul136d_arino.pdf.
- Arino, O., Gross, D., Ranera, F., Bourg, L., Leroy, M., Bicheron, P., Latham, J., Di Gregorio, A., Brockman, C., Witt, R., Defourny, P., Vancutsem, C., Herold, M., Sambale, J., Achard, F., Durieux, L., Plummer, S. et Weber, J-L., 2007. *GlobCover : ESA service for global land cover from MERIS*. Barcelone, 23-27 juillet 2007, Proceedings of IGARSS'07, 4 p.
- Atelier Régional de Bretagne, 1975. *Schéma d'Aménagement du Littoral Breton et des Iles (SALBI)*. Service Régional de l'Équipement, Atelier Régional de Bretagne, SOREPA.
- Ayad, Y. M., 2005. Remote sensing and GIS in modeling visual landscape change : a case study of the northwestern arid coast of Egypt. *Landscape and urban planning*, vol.73, pp.307-325.
- Baatz, M. et Schäpe, A., 2000. Multiresolution segmentation : an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, pp.12-23.
- Baclet, G. et Le Roy, R., 1980. *SAUM de la rade de Brest*. Ministère des Transports, Direction Départementale de l'Équipement du Finistère, 197 p.
- Balaguer, P., Sarda, R., Ruiz, M., Diedrich, A., Vizoso, G. et Tintoré, J., 2008. A proposal for boundary delimitation for integrated coastal zone management initiatives. *Ocean and Coastal Management*, n°51, pp.806-814.
- Banos, A., 2001. A propos de l'analyse spatiale exploratoire des données. *Cybergeographie : Revue européenne de géographie*, art. 197, mis en ligne le 18 octobre 2001, modifié le 02 mai 2007, <http://www.cybergeographie.eu/index4056.html>, 11 p.
- Barbier, E. B., Koch, E. W., Silliman, B. R., Hacker, S. D., Wolanski, E., Primavera, J., Granek, E. F., Polaski, S., Aswani, S., Cramer, L. A., Stoms, D. M., Kennedy, C. J., Bael, D., Kappel, C. V., Perillo, C. M. E. et Reed, D. J., 2008. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, vol.319, pp.321-323.

- Bargain, J., Douy, T., Larpent, M., Blot-Geoffroy, N., Dajoux, S. et Portier, J-F., 2010. *Brest métropole océane, un nouveau regard sur la ville*. Les dossiers d'Octant, n°53, Adeupa de Brest - INSEE Bretagne, 23 p.
- Bartholomé, E. et Belward, A.S., 2005. GLC2000 : a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of remote sensing*, vol.26, n°9, pp.1959-1977.
- Bartlett, D. J. et Smith, J. L., 2004. *GIS for coastal zone management*. CRS Press, Londres, 310 p.
- Baudequin, I., 2009. La Bretagne, une région de plus en plus attractive. *Octant*, n°115, pp.11-16.
- Bauer, G. et Roux, J-M., 1976. *La rurbanisation, ou la ville éparpillée*. Editions du Seuil, Paris, 189 p.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. et Heynen, M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol.58, pp.239-258.
- Béoutis, A., Jean, P. et Colas, S., 2009. *Démographie et économie du littoral*. Observatoire du Littoral-INSEE-SOeS, Les dossiers de l'Observatoire du Littoral, 22 p.
- Berberoglu, S. et Akin, A., 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol.11, pp.46-53.
- Bersani C., Simoni M-L., Allain Y-M., Ribière G., Denègre J., Planques P. et Tugayé Y., 2006. *Rapport relatif au schéma d'organisation des dispositifs de recueil des données et d'observation sur le littoral*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 120 p.
- Bersani, C., Simoni, M-L., Allain, Y-M., Ribière, G., Denègre, J., Planques, P. et Tugayé, Y., 2006. *Rapport relatif au schéma d'organisation des dispositifs de recueil des données et d'observation sur le littoral*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 120 p.
- Billé, R., 2006. Gestion intégrée des zones côtières : quatre illusions bien ancrées. *Vertigo*, vol.7, n°3, 12 p.
- Blaschke, T. et Strobl, J., 2001. What's wrong with pixels ? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GeoBIT/GIS*, vol.6, pp.12-17.
- Boak, A. L. et Turner, I. L., 2005. Shoreline definition and detection : a review. *Journal of Coastal Research*, vol.21, n°4, pp.688-703.
- Boles, S. H., Xiao, X., Liu, J., Zhang, Q., Munkhtuya, S., Chen, S. et Ojima, D., 2004. Land cover characterisation of temperate East Asia using multi-temporal VEGETATION sensor data. *Remote Sensing of Environment*, vol.90, pp.477-489.
- Borja, A., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E. M., Uriarte, A. et Valencia, V., 2006. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.66, n°1-2, pp.84-96.
- Bourcier, A. et Deprez, S., 2007. *Orientations stratégiques pour la GIZC (Gestion intégrée des zones côtières) en baie de Seine*. Deauville, Conférences de l'estuaire / Séminaire GIZC n° 3, 3 p.
http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/48/43/38/PDF/2008-07-BOURCIER-Article_Actes_Conferences_GIZC.pdf.
- Bowen, R. E. et Riley, C., 2003. Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean and Coastal Management*, vol.46, n°3-4, pp.299-312.
- Bradley, B. A. et Mustard, J. F., 2005. Identifying land cover variability distinct from land cover change : cheatgrass in the Great Basin. *Remote Sensing of Environment*, vol.94, pp.204-213.
- Brath, A., Montanari, A. et Moretti, G., 2006. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*, vol.324, n°1-4, pp.141-153.

- Brown, D. G. et Duh, J-D., 2004. Spatial simulation for translating from land use to land cover. *International Journal of Geographical Information Science*, vol.18, n°1, pp.35-60.
- Buhot, C., 2006. *Marché du logement et division sociale de l'espace dans les îles du Ponant*. Thèse de géographie, Université de Bretagne Occidentale, 445 p.
- Canevet C., 2004. *Le modèle agricole breton, genèse et évolutions spatiales*. 17 avril 2004, Loudéac, Agriculture et agroalimentaire en Bretagne, pp.29-57.
- Carlson, T. N. et Sanchez-Azofeifa, G. A., 1999. Satellite remote sensing of land use changes in and around San José, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, vol.70, pp.247-256.
- CEL, 2002. *Pour une approche intégrée de gestion des zones côtières. Initiatives locales, stratégie nationale*. Commission Environnement Littoral, MEDD, DATAR, Ifremer, Rapport au gouvernement, 82 p., <http://wwwz.ifremer.fr/envlit/content/download/27413/222390/version/1/file/rapportfinalCEL.pdf>.
- Chen, S., Chen, L., Liu, Q., Li, X. et Tan, Q., 2005. Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. *Ocean and Coastal Management*, vol.48, pp.65-83.
- Chhabra, A., Haberl, H. et Braimoh, A., 2005. Multiple impacts of land-use/cover change. *IHDP Newsletter*, vol.3, pp.12.
- Chubey, M. S., Franklin, S. E. et Wulder, M. A., 2006. Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol.72, n°4, pp.383-394.
- Cicin-Sain, B. et Knecht, R. W., 1998. *Integrated coastal and ocean management, concepts and practices*. Island Press, 517 p.
- Cilhar, J. et Jansen, L. J. M., 2001. From land cover to land use : a methodology for efficient land use mapping over large areas. *Professional Geographer*, vol.53, n°2, pp.275-289.
- Commission Européenne, 1999. *Vers une stratégie européenne d'aménagement intégré des zones côtières (AIZC). Principes généraux et options politiques*. Office des publications officielles des Communautés européennes, 32 p., http://ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/vol1_fr.pdf.
- Congalton, R.G. et Green, K., 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data : principles and practices (second edition)*. CRC Press, 210 p.
- Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of the Environment*, n°37, pp.35-46.
- Congalton, R.G., 2004. Putting the map back in map accuracy assessment. *Remote sensing and GIS accuracy assessment*, CRC Press, pp.1-11.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K. et Muys, B., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring : a review. *International Journal of remote sensing*, vol.25, n°9, pp.1565-1596.
- Corbane, C., Baghdadi, N., Hosford, S., Somma, J. et Chevrel, S., 2004. Application d'une méthode de classification orientée-objet pour la cartographie de l'occupation du sol : résultats sur Aster et Landsat ETM. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, vol.2004-3, n°175, pp.12-26.
- Cormier-Salem, M-C., 2003. *Le littoral : un patrimoine controversé*. 16-17 mars 2001, Activités halieutiques, aménagement et gestion en zone côtière, Actes des 5ème rencontres halieutiques de Rennes, ENSAR / Ifremer, pp.29-47.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. et van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, vol.387, pp.253-260.
- Cruse, B. et Hempel, C., 2005. *Object-based land cover mapping for Groote Eylandt : a tool for reconnaissance and land based surveys*. Darwin, Australie, Proceedings of NARGIS 2005 - Applications in tropical spatial science , 4-7 juillet 2005, Charles Darwin University, pp. 15.

Daily, G.C., Soderquist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P., Ehrlich, P. R., Folke, C., Jansson, A. M., Jansson, B. O., Kautsky, N., Levin, S., Lubchenco, J., Maler, K. G., David, S., Starrett, D., Tilman, D. et Walker, B., 2000. The value of nature and the nature of value. *Science*, vol.289, n°5478, pp.395-396.

Dantas, M., 2010. *Analyse économique des effets de la planification urbaine sur les prix immobiliers et fonciers en zone littorale : le cas du Bassin d'Arcachon*. Thèse de sciences économiques, Université Montesquieu - Bordeaux IV, 348 p.

DATAR, 1973. *Le littoral français - perspectives pour l'aménagement*. Rapport au gouvernement.

DATAR, 2004. *Construire ensemble un développement équilibré du littoral*. La Documentation Française, 158 p.

de Groot, R. S., Wilson, M. A. et Boumans, R. M. J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, n°41, pp.393-408.

Deduce consortium, 2007. *Guide d'utilisation des indicateurs : Mettre en oeuvre une approche basée sur les indicateurs pour évaluer le développement durable sur le littoral*. Ministère de l'Environnement et du Logement, Gouvernement catalan, 78 p.

http://www.littoral.ifen.fr/uploads/media/indicators_guidelines_fr.pdf.

DeFries, R. et Bounoua, L., 2004. Consequences of land use change for ecosystem services : a future unlike the past. *GeoJournal*, n°61, pp.345-351.

DeFries, R. et Eshleman, K. N., 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, vol.2183-2186, n°11, pp. 2183-2186.

DeFries, R.S, Foley, J.A. et Asner, G.P., 2004. Land-use choices : balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol.2, n°5, pp.249-257.

Demangeot, J., 2002. *Les milieux "naturels" du globe (9ème édition)*. Armand Colin, Paris, 364 p.

Denis, J. et Hénocque, Y., 2001. *Des outils et des hommes pour une gestion intégrée des zones côtières. Guide méthodologique*. Commission Océanographique Intergouvernementale UNESCO, 65 p.

Deschamps-Collet, F., 2009. La Bretagne au 1er janvier 2006 : un dynamisme démographique largement dû aux migrations. *Le Flash d'Octant*, n°146, INSEE Bretagne, pp.8.

http://www.insee.fr/fr/insee_regions/bretagne/themes/flash/flash146/flash146.pdf.

Desclée, B., Bogaert, P. et Defourny, P., 2006. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, vol.102, pp.1-11.

Dézert, B., Metton, A. et Steinberg, J., 1991. *La périurbanisation en France*. SEDES, Paris, 226 p.

Di Gregorio, A. et Jansen, L., 1998. *Land Cover Classification System (LCCS) : Classification Concepts and User Manual*. FAO, 157 p.

Di Salvo, M. et Pitaval, N., 2007. *Quelle est la consommation d'espace par les transports et par l'urbanisation ?* Certu, 64 p.

DIACT, 2007. *Bilan de la loi Littoral et des mesures en faveur du littoral. Rapport du gouvernement au Parlement*. DIACT - Secrétariat Général à la Mer, 127 p.

DIACT-SGL, 2006. *Rapport français d'application de la Recommandation du parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières en Europe*. DIACT - Secrétariat général à la mer, 87 p.

<http://www.diact.gouv.fr/IMG/File/RapportfrançaisrecommandationeuropeenneGIZC.pdf>.

Doney, S. C., 2010. The growing human footprint on coastal and open-ocean biogeochemistry. *Science*, vol.328, n°5985, pp.1512-1516.

DRE Bretagne, 2004. *Problématique foncière en Bretagne*. Direction Régionale de l'Équipement Bretagne-CETE de l'Ouest, 39 p.

DRE Bretagne, 2008. *Atlas de l'évolution de l'occupation du sol sur le littoral breton entre 1977 et 2000 : Finistère vol. 1 et 2*. Direction Régionale de l'Équipement de la Bretagne, Division Aménagement et Habitat, 281 p. et 237 p.

Dron, D., 1995. *Environnement et choix politiques*. Flammarion, 128 p.

Dusseux, P., Vitter, M., Sparfel, L., Hubert-Moy, L., Gourmelon, F. et Nabucet, J., 2009. *Evolution de la tâche urbaine et de l'occupation des sols sur le département du Finistère entre 1984 et 2005*. COSTEL UMR CNRS 65554 LETG (UHB-Rennes 2), GEOMER UMR 6554 LETG (UBO), Adeupa de Brest, 46 p.

EAA, 2006. *The changing faces of Europe's coastal areas*. European Environment Agency, 107 p.

EAA, 2007. *CLC2006 technical guidelines*. European Environment Agency, 70 p.
http://www.eea.europa.eu/subscription/eea_main_subscription/newsletter.2007-12-19.5330640813/view.

EUCC, 2003. *Measuring progress in the implementation of Integrated Coastal Zone Management*. EU Working Group on Indicators and Data, 14 p.
http://www.eucc.net/en/policy/Progress_indicator_set.pdf.

Euzenes, P. et Le Foll, F., 2004. *Pour une gestion concertée du littoral en Bretagne*. Conseil Economique et Social de Bretagne - Section Mer Littoral, 214 p.

Fabbri K. P. 1998. A methodology for supporting decision making in integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*, vol.39, pp.51-62.

FAO, 2009. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2008*. Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO, 244 p.

Flanders, D., Hall-Beyer, M. et Pereverzoff, J., 2003. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal of remote sensing*, vol.29, n°4, pp.441-452.

Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. et Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land-use. *Science*, n°309, pp.570-574.

Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, vol.80, pp.185-201.

Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F. et Schaaf, C., 2002. Global land cover mapping from MODIS : algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, vol.83, pp.287-302.

Gaillard, J.-C., Maceda, E. A., Stasiak, E., Le Berre, I. et Espaldon, M. V. O., 2010. Sustainable livelihoods and people's vulnerability in the face of coastal hazards. *Journal of Coastal Conservation*, n°13, pp.119-129.

Geist, H. J. et Lambin, E.F., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, vol.52, n°2, pp.143-150.

Geist, H. J., Lambin, E.F., McConnell, W. et Alves, D., 2005. Causes, trajectories and syndromes of land-use/cover change. *IHDP Newsletter*, vol.3, pp.6-7.

Gélard, P. (rapp.), 2004. *L'application de la « loi littoral » : pour une mutualisation de l'aménagement du territoire*. Rapport sénatorial, 92 p.

Geniaux, G., 2006. Indicateurs de développement durable : un panorama des principales références bibliographiques, cadres conceptuels et initiatives internationales. *Ecole Chercheur Comment répondre aux enjeux de l'Environnement et du Développement Durable*, Chaussy, 13 p.
http://www.avignon.inra.fr/avignon_eng/les_recherches_1/liste_des_unites/ecodeveloppement_1/seminaires/historique_des_seminaires/indicateurs_de_developpement_durable.

George, P. et Verger, F., 2009. *Dictionnaire de la géographie*. PUF, Paris, 480 p.

- Gesta, A., 1987. *Un outil de gestion : l'inventaire permanent du littoral*. Biarritz, sept. 1987, Mer et littoral, couple à risque,. La Documentation Française, pp.440-452.
- Girard, C.M. et Blasco, F., 1996. Végétation herbacée terrestre. *Précis de télédétection, vol. 2 : Applications thématiques*, Bonn F. (dir.), pp.201-223.
- Girard, C.M., Gilliot, J.-M., Girard, M.-C. et Thorette, J., 1997. Comparaison de la cartographie de l'occupation des terres par classification de données de télédétection avec la cartographie CORINE niveau 3 : application à une zone au nord-ouest de l'Ile-de-France. *Revue Internationale de Géomatique*, vol.7, n°1, pp.57-86.
- Girard, M-C. et Girard, C.M., 2004. *Traitement des données de télédétection*. Dunod, Paris, 530 p.
- Giri, C., Zhu, Z. et Reed, B., 2005. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and Modis land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, vol.94, pp.123-132.
- Gourmelon, F., 2002. Classification d'ortho-photographies numérisées pour une cartographie à grande échelle de la végétation terrestre. *Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal of remote sensing*, vol.28, n°2, pp.168-174.
- Gourmelon, F., 2003. *La contribution des SIG à la connaissance et à la gestion de l'environnement littoral*. Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Géomer (UMR 6554 CNRS), 159 p.
- Gourmelon, F., Bioret, F. et Sauve, L., 2005b. Potentialités de l'imagerie satellitaire SPOT 5 pour la cartographie de la végétation terrestre, application à l'île d'Ouessant (Finistère). *Cybergeographie : Revue européenne de géographie*, art.325, mis en ligne le 09 novembre 2005, <http://cybergeographie.revues.org/3027>, 15 p.
- Gourmelon, F., Cuq, F. et Bioret, F., 2001. *Changements d'occupation des sols des espaces littoraux semi-naturels : diversité des approches et des méthodes*. Séminaire de l'UMR 6554, pp.12-16.
- Gourmelon, F., Le Visage, C. et Robin, M., 2005a. Des SIG spécifiques pour un espace spécifique ? *SIG et littoral*, Hermès, Paris, pp.21 - 47.
- Granek, E. F., Polasky, S., Kappel, C. V., Reed, D. J., Stoms, D. M., Koch, E. W., Kennedy, C. J., Cramer, L. A., Hacker, S. D., Barbier, E. B., Aswani, S., Ruckelshaus, M., Perillo, G. M., Silliman, B. R., Muthiga, N., Bael, D. et Wolanski, E., 2010. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management. *Conservation Biology*, vol.24, n°1, pp.207-216.
- Grenier, A. et Dubois, J. M. M., 1990. Evolution littorale récente par télédétection : synthèse méthodologique. *Photo-interprétation*, n°1990-6, pp.3-16.
- Guermond, Y., 1994. Informatique et géographie. *Encyclopédie de Géographie*, Bailly A., Ferras R., Pumain D. (sous la dir.), pp.277-286.
- Guineberteau, T., 1994. *L'aménagement littoral de la façade atlantique : les schémas spécifiques aux espaces côtiers*. Thèse de Géographie, Université de Nantes, 379 p.
- Guineberteau, T., Meur-Férec, C. et Trouillet, B., 2006. La gestion intégrée des zones côtières en France : mirage ou mutation stratégique fondamentale ? *Vertigo*, vol.7, n°3, 14 p. <http://vertigo.revues.org/index2569.html>.
- Gutman, G., Janetos, A. C., Justice, C. O., Moran, E., Mustard, J. F., Rindfuss, R. R., Skole, D., Turner, II B. L. et Cochrane, M. A., 2004. *Land Change Science : observing, monitoring and understanding trajectories of change on the Earth's surface*. Kluwer Academic, New York, 492 p.
- Hajek, F., 2005. *Object-oriented classification of remote sensing data for the identification of tree species composition*. Boras, Suède, Proceedings of ForestSat 2005 Conference, 31 mai-3 juin 2005, 5 p.
- Harken, J. et Sugumaran, R., 2005. Classification of Iowa wetlands using an airborne hyperspectral image : a comparison of the spectral angle mapper classifier and an object-oriented approach. *Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal of remote sensing*, vol.31, n°2, pp.167-174.
- Hénocque, Y., 2001. Urban communities and environmental management in France : the example of the Toulon Bay Contract. *Ocean and Coastal Management*, n°44, pp.371-377.

- Hénocque, Y., 2003. Development of process indicators for coastal zone management assesment in France. *Ocean and Coastal Management*, n°46, pp.363-379.
- Hershman, M.J., Good, J.W., Bernd-Cohen, T., Goodwin, R.F. et Pogue, V.L.P.1999. The effectiveness og coastal zone management in the United States. *Coastal Management*, vol.27, n°2-3, pp.113-138.
- Holligan P.M. et De Boois H., 1993. Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone: science plan. Report 25 IGPB, 50 p.
- Houet, T., 2006. Modélisation prospective de l'occupation du sol en zone agricole intensive : Evaluation par simulations dynamiques de l'impact de l'évolution des exploitations agricoles dans la France de l'Ouest. *Norôis*, n°198, 2006/1, pp.35-47.
- Hubert-Moy, L., 2004. *Occupation du sol et télédétection : de l'inventaire à la modélisation prédictive*. Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Université de Rennes2 - Haute Bretagne, 282 p.
- Hubert-Moy, L., Corgne, S., Houet, T. et Tissot, C., 2006. *Modélisation prédictive et prospective des changements de l'occupation des sols*. La Baule, Colloque Interactions Nature-Société, analyse et modèles, UMR 6554 LETG, 6 p.
- Jain, S. et Jain, R. K., 2006. A remote sensing approach to establish relationship among different land covers at the micro-level. *International Journal of remote sensing*, vol.27, n°13, pp.2667-2682.
- Jensen, J. R., 2005. *Introductory digital image processing, a remote sensing perspective (3ème édition)*. Prentice-Hall, London, 526 p.
- Jude, S., Jones, A. P.Andrews, J. E. et Bateman, I. J., 2006. Visualisation for Participatory Coastal Zone Management: A Case Study of the Norfolk Coast, England. *Journal of Coastal Research*, vol.22, n°6, pp.1527-1538.
- Kamagata, N., Akamatsu, Y., Mori, M., Qing Li, Y., Hoshino, Y. et Hara, K., 2005. *Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe areas*. Hanoi, Vietnam, Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing, 7-11 novembre 2005, 6 p.
- Käyhkö, N., Fagerholm, N., Asseid, B. S. et Mzee, A. J., 2011. Dynamic land use and land cover changes and their effect on forest resources in a coastal village of Matemwe, Zanzibar, Tanzania *Land Use Policy*, vol.28, n°1, pp.26-37.
- Kilic, S., Evrendilek, F., Berberoglu, S. et Demirkesen, A., 2006. Environmental monitoring of land-use and land-cover changes in a Mediterranean region of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, vol.114, n°1-3, pp.157-168.
- Kleppel, G.S., DeVoe, M.R. et Rawson, M.V., 2006. *Changing land use patterns in the coastal zone. Managing environmental quality in rapidly developing regions*. Springer, Berlin, 305 p.
- Kullenberg, G., 2001. Contributions of marine and coastal area research and observations towards sustainable development of large coastal cities. *Ocean and Coastal Management*, n°44, pp.283-291.
- Laborde, P.2005. *Les espaces urbains dans le monde*. Ed. A. Colin, Paris, 239 p.
- Lacroix, V., Hincq, A., Mahamadou, I., Bruynseels, B. et Swartenbroek, O., 2004. *A visibility test on SPOT 5 images Istanbul, Turquie*, ISPRS 2004, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/papers/486.pdf>.
- Lagabrielle, E., Metzger, P.Martignac, C., Lortic, B. et Durieux, L., 2007. Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002). *Mappemonde*, vol.86, n°2-2007, 23 p.
- Lambin, E.F. et Geist, H. J., 2006. *Land use and land cover change : local processes, global impacts*. Springer-Verlag, Berlin, 222 p.
- Lambin, E.F. et Geist, H. J., 2007. *Causes of land-use and land-cover change*. http://www.eoearth.org/article/Causes_of_land-use_and_land-cover_change.
- Lambin, E.F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E.F., Rindfuss, R.R., Sato, Y., Skole, D., Turner, B.L. et Vogel, C., 1999. *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC), Implementation Strategy*. IGBP report n°48 - IHDP report 10, 125 p.

- Lambin, E.F., Geist, H. J. et Lepers, E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environmental resources*, vol.28, pp.205-241.
- Lambin, E.F., Turner, Il B. L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, C., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C. et Xu, J., 2001. The causes of land-use and land-cover change : moving beyond the myths. *Global environmental change*, vol.11, n°4, pp.261-269.
- Larpent, M., 2009. *Portrait social de Brest Métropole Océane, note de synthèse 2008*. Adeupa de Brest, Observatoire Social, 32 p.
- Latifovic, R. et Pouliot, D., 2005. Multitemporal land-cover mapping for Canada : methodology and products. *Canadian journal of remote sensing*, vol.31, n°5, pp.347-363.
- Lawton, J., 2001. Earth System Science. *Science*, vol.292, n°5524, pp.1965.
- Layadi, R., 2004. *L'évolution nécessaire du modèle agricole breton : du modèle au projet*. 17 avril 2004, Loudéac, Agriculture et agroalimentaire en Bretagne, pp.61-81.
- Le Berre, I., Giraudet, J. et Hénaff, A., 2005. Suivi du littoral par SPOT 5 : cartographie de l'occupation du sol. *Photo-Interprétation*, vol.41, n°3, pp.3-11.
- Le Berre, I., Le Tixerant, M. et Nogues, L., 2010. *Information Géographique et GIZC : Analyse et expérimentation d'un SIG inter-services Mer et Littoral*. Géomer / Terra Maris, 100 p.
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/53/57/95/PDF/Rapport_MIMEL_V3.pdf.
- Le Berre, I., Quemmerais, F. et Fichaut, B., 2008. Révision de l'atlas Polmar-Terre du Département de la Manche : vers un SIG opérationnel interservices. *Cybergeog*, vol.article 422, mis en ligne le 06 mai 2008, modifié le 04 juillet 2008, <http://cybergeog.revues.org/18082>.
- Le Du-Blayo L., 2007. *Le paysage en Bretagne. Enjeux et défis*. Editions Palantines, Plomelin, 351 p.
- Le Guen, J. (rapp.), 2004. *Rapport d'information sur l'application de la loi littoral*. Commission des Affaires économiques, de l'Environnement et du Territoire, Assemblée Nationale, 99 p.
<http://www.littoral.ifen.fr/uploads/media/i1740.pdf>.
- Le Hégarat-Masclé, S., Ottlé, C. et Guérin, C., 2005. Land cover change detection at coarse spatial scales based on iterative estimation and previous state information. *Remote Sensing of Environment*, vol.95, pp.464-479.
- Lebahy, Y. et Le Délézir, R., 2006. *Le littoral agressé, pour une politique volontariste de l'aménagement en Bretagne*. Editions Apogée, Rennes, 190 p.
- Lecerf, R., 2008. *Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (application à la Bretagne)*. Thèse de géographie, Université de Rennes 2, 326 p.
- Lee, S. Y., Dunn, R. J. K., Young, R. A., Connolly, R. M., Dale, P. E. R., Dehayr, R., Lemckert, C. J., McKinnon, S., Powell, B., Teasdale, P. R. et Welsh, D. T., 2006. Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. *Austral Ecology*, vol.31, n°2, pp.149-163.
- Lepers, E., Lambin, E.F., Janetos, A. C., DeFries, R., Achard, F., Ramankutty, N. et Scholes, R. J., 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *BioScience*, vol.55, n°2, pp.115-124.
- Lescoat, J., 1996. *La Bretagne, ou l'environnement égaré (essai sur l'organisation de l'espace en France à partir du cas breton)*. Editions Coop Breizh, Spézet, 168 p.
- Levy, D., 2008. Davantage de maisons individuelles, moins de logements sociaux. *Les dossiers d'Octant*, n°51, INSEE Bretagne, 5 p.
- Lewinski, S., 2005. *Land use classification of ASTER image, Legionowo test site*. Porto, Portugal, Proceedings of the 25th EARSeL Symposium, 6-9 juin 2005, 8 p.

- Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L. et Merchant, J.W., 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, vol.21, n°6-7, pp.1303-1330.
- Lu, D., Mausel, P.Brondizio, E. et Moran, E., 2003. Change detection techniques. *International Journal of remote sensing*, vol.25, n°12, pp.2365-2407.
- Lucas, R., Medcalf, K., Brown, A., Bunting, P.Breyer, J., Clewley, D., Keyworth, S. et Blackmore, P., 2011. Updating the Phase 1 habitat map of Wales, UK, using satellite sensor data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, n°66, pp.81-102.
- Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S. et Bunting, P., 2007. Rule-based classification of multi-temporal imagery for habitat and agricultural land cover mapping. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol.62, pp.165-185.
- Luguang, J., Bergen, K. M., Brown, D. G., Tingting, Z., Qing, T. et Shuhua, Q., 2008. Land-cover Change and Vulnerability to Flooding near Poyang Lake, Jiangxi Province, China. *Photogrammetric engineering et remote sensing*, vol.74, n°6, pp.775-786.
- Lunetta, R. S. et Lyon, J. G. (eds), 2004. *Remote sensing and GIS accuracy assessment*. CRC Press, 304 p.
- Lunetta, R. S., Congalton, R.G., Fenstermaker, L. K., Jensen, J. R., McGwire, K. C. et Tinney, L. R., 1991. Remote sensing and Geographic Information System data integration : error sources and research issues. *Photogrammetric engineering et remote sensing*, vol.57, n°6, pp.677-687.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G. et Worthy, L. D., 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data *Remote Sensing of Environment*, vol.105, n°2, pp.142-154.
- Luong, L. et Rul, B., 2008. 370 000 ménages bretons supplémentaires en 2030. *Octant*, n°112, INSEE Bretagne, pp.5-10.
- Martin de Santa Ollala Mañas, F., Cabañero Soria, F.J. et Artigao Ramirez, A., 2003. Validation of the CORINE Land Cover database in a pilot zone under semi-arid conditions in La Mancha (Spain). *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, art. 235, mis en ligne le 07 février 2003, modifié le 29 juin 2007, <http://cybergeo.revues.org/4233>, 20 p.
- Martin, S., Bertrand, N. et Rousier, N., 2006. Les documents d'urbanisme, un outil pour la régulation des conflits d'usage de l'espace agricole périurbain ? *Géographie, économie, société*, vol.8, n°2006/3, pp.329-350.
- Martinez, C., 2006. *1986-2006, 20 ans de loi Littoral. Bilan et propositions pour la protection des espaces naturels*. Comité français de l'UICN, 24p.
http://www.uicn.fr/IMG/pdf/rapport_UICN_France_loi_Littoral-2.pdf.
- Mas, J.-F., 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Canadian journal of remote sensing*, vol.26, n°4, pp.349-362.
- Maxim, L., Spangenberg, J. H. et O'Connor, M., 2009. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, vol.69, n°1, pp.12-23.
- McDermid, G.J., Pape, A., Chubey, M.S. et Franklin, S.E., 2003. *Object oriented analysis for change detection*. Proceedings 25th Canadian Symposium on Remote Sensing, 4 p.
- McFadden, L., 2007. Governing coastal spaces : the case of disappearing science in interated coastal zone management. *Coastal Management*, n°35, pp.429-443.
- McGranahan, G., Balk, D. et Anderson, B., 2007. The rising tide : assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization*, vol.19, n°1, pp.17-37.
- McLean, R., Tsyban, A., Burkett, V., Codignotto, J. O., Forbes, D. L., Mimura, N., Beamish, R. J. et Ittekkot, V., 2001. Coastal zones and marine ecosystems. *Climate change 2001 : impacts, adaptation and vulnerability*, Cambridge University Press, pp. 343-380.
- Merlin, P., 2002. *L'aménagement du territoire*. Presses Universitaires de France, Paris, 448 p.

- Merlin, P., 2009. *L'exode urbain : de la ville à la campagne*. La Documentation française, Paris, 170 p.
- Merlin, P. et Choay, F. (dir.), 2009. Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. PUF, Paris, 963 p.
- Metzger, M. J., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R. et Schröter, D., 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, ecosystems and environment*, n°114, pp.69-85.
- Meur-Ferec, C. et Morel, V., 2004. L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques. *Natures Sciences Sociétés*, vol.12, pp.263-273.
- Meur-Ferec, C., 2006. *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe (volume 1)*. Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Université de Nantes, 247 p.
- Meur-Ferec, C., 2007. La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française. *Développement durable et territoire [en ligne]*, Varia, mis en ligne le 28 septembre 2007, 20 p., <http://developpementdurable.revues.org/document4471.html>.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press, 155 p.
- Miossec, A., 1998. De l'aménagement des littoraux à la gestion intégrée des zones côtières. *Géographie humaine des littoraux maritimes*, CNED - SEDES, pp. 413-466.
- Moeller, M. S., Stefanov, W. L. et Netzbund, M., 2004. *Characterizing land cover changes in a rapidly growing metropolitan area using long term satellite imagery*. Denver, Colorado, ASPRS, 9 p.
- Moro, S., 2007. Les migrations soutiennent le dynamisme démographique. *Le Flash d'Octant*, n°124, INSEE Bretagne, 4 p., http://www.insee.fr/fr/insee_regions/bretagne/themes/flash/flash124.pdf.
- Muttitanon, W. et Tripathi, N.K., 2005. Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *International Journal of remote sensing*, vol.26, n°11, pp.2311-2323.
- Neumann, K., Herold, M., Hartley, A. et Schmullius, C., 2007. Comparative assessment of Corine2000 and GLC2000 : spatial analysis of land cover data for Europe. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, n°9, pp.425-437.
- Nicholls, R. J., 2004. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century : changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global environmental change*, n°14, pp.69-86.
- Observatoire du Littoral, 2007. *La gestion intégrée du littoral et ses indicateurs de suivi*. 8 p. <http://www.littoral.ifen.fr/uploads/media/plaquette-gizc.pdf>.
- Observatoire du Littoral-SOeS, 2009. *Recueil des fiches indicateurs de l'Observatoire du littoral au 25/05/09*. Observatoire du Littoral - Service de l'Observation et des Statistiques, 193 p.
- Observatoire Régional du Tourisme Bretagne, 2004. Le marché des résidences secondaires en Bretagne. *Vent d'Ouest*, n°87, pp.2-3. <http://observatoire.tourismebretagne.com/documents/VDO87.pdf>.
- OCDE, 1993. *Gestion des zones côtières. Politiques intégrées*. Rapport OCDE, 140 p.
- OCDE, 1998. *Towards sustainable development : environmental indicators*. OCDE, 244 p.
- Ojima, D., Moran, E., McConnell, W., Stafford Smith, M., Laumann, G., Morais, J. et Young, B., 2005. *Global Land Project, science plan and implementation strategy*. IGBP report n°53 - IHDP report 19, 65 p.
- Ollivro, J., 2005. *Bretagne, 150 ans d'évolution démographique*. PUR, Rennes, 366 p.
- Ollivro, J., 2011. *La nouvelle économie des territoires*. Ed. Apogée, Rennes, 189 p.
- Olsen, S. B., 2003. Frameworks and indicators for assessing progress in integrated coastal management initiatives. *Ocean and Coastal Management*, vol.46, n°3-4, pp.347-361.
- Pauleit, S., Ennos, R. et Golding, Y., 2005. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change - a study in Meyerside, UK. *Landscape and urban planning*, vol.71, pp.295-310.

- Pennanguer, S., 2005. *Incertitude et concertation dans la gestion de la zone côtière*. Thèse d'halieutique, ENSAR, Agrocampus - Rennes, 374 p.
- Phinn, S. et Standford, M., 2001. Monitoring land-cover and land-use change in a rapidly urbanising coastal environment : the Maroochy and Mooloolah Rivers catchments, Southeast Queensland, 1988-1997. *Australian Geographical Studies*, vol.39, n°2, pp.217-232.
- Pickaver, A. H., Gilbert, C. et Breton, F., 2004. An indicator set to mesure the progres in the implementation of integrated coastal zone management in Europe. *Ocean and Coastal Management*, n°47, pp.449-462.
- Pigeon, P.2005. *Géographie critique des risques*. Economica, Paris, 217 p.
- Pirrone, N., Trombino, G., Cinnirella, S., Algieri, A., Bendoricchio, G. et Palmeri, L., 2005. The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management : preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Regional Environmental Change*, vol.5, n°2-3, pp.111-137.
- Pison, G., 2009. *Atlas de la population mondiale*. Ed. Autrement, Paris, 80 p.
- Plumejeaud, C., Prud'homme, J., Davoine, P-A. et Gensel, J., 2009. *Etude de méthodes de transfert d'indicateurs associés à différents découpages du territoire - Application à la ville de Grenoble*. Paris, France, Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2009), 25-27 novembre 2009, 17 p., http://membres-liglab.imag.fr/plumejeaud/publis/article_sageo_27_07_CP-v7.pdf.
- Pottier, P. (coord.), Chadenas, C., Poullaude, A. et Struillou, J-F, 2009. *Evaluer la capacités d'accueil et de développement des territoires littoraux, approche et méthode*. PUCA - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire - DREAL des Pays de la Loire, Cahier n° 2, 88 p.
- Pottier, P.2005. Planification côtière et SIG. *SIG et littoral*, Hermès Sciences - Lavoisier, Paris, pp.88-108.
- Prakash, A. et Gupta, R. P., 1998. Land-use mapping and change detection in a coal mining area - a case study in the Jharia coalfield, India. *International journal of remote sensing*, vol. 19, n°3, pp.391-410.
- Puissant, A. et Weber, C., 2004. Démarche orientée "objets-attributs" et classification d'images THRS. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, vol.173-174, pp.123-134.
- Puissant, A., Sheeren, D., Weber, C., Wemmert, C. et Gañcarski, P., 2006. *Amélioration des connaissances sur l'environnement urbain : intérêt de l'intégration de règles dans les procédures de classification*. La Baule, France, Colloque Interactions Nature-Société, analyse et modèles, UMR 6554 LETG, 5 p.
- Ramonet, M., 2009. La population des pays bretons à l'horizon 2030, l'arc Rennes-Auray se distingue. *Le Flash d'Octant*, n°152, INSEE Bretagne, 4 p.
- Réau, M., 2006. *La Gestion intégrée du littoral : UE, Etat, Région, vers la régionalisation d'un instrument communautaire d'action publique*. Grenoble, 15-16 juin 2006, Journée d'étude : Les politiques publiques à l'épreuve de l'action territoriale, 9 p., http://www.pacte.cnrs.fr/IMG/pdf_REAU-AFSP.pdf.
- Région Bretagne, 2007. *La Charte des espaces côtiers bretons*. Région Bretagne, 63 p. <http://www.labretagneetlamer.fr/files/rapport.pdf>.
- Rego, F. L. et Koch, B, 2003. Automatic classification of land cover with high resolution data of the Rio de Janeiro city Brazil comparison between pixel and object classification. *Remote Sensing of Urban Areas*, pp.153-157.
- Rey-Valette, H. et Roussel, S., 2006. L'évaluation des dimensions territoriales et institutionnelle du développement durable : le cas des politiques de Gestion Intégrée des Zones Côtières. *Développement durable et territoire [en ligne]*, Dossier 8 : Méthodologies et pratiques territoriales de l'évaluation en matière de développement durable., mis en ligne le 13 décembre 2006, 20 p. <http://developpementdurable.revues.org/document331.html>.

- Rieu, C., 2011. Le renouveau des campagnes bretonnes. *Octant Analyse*, n°13, INSEE Bretagne, 4 p. http://www.insee.fr/fr/insee_regions/bretagne/themes/octantana/octana13/octana13.pdf.
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, II B. L., Fox, J. et Mishra, V., 2004. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *PNAS*, vol.101, n°39, pp.13976-13981.
- Robin, M., 2002. Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. *Le littoral, regards, pratiques et savoirs*, Editions ENS, Lyon, pp.95-116.
- Robin, M., 2005. De la prévention à la protection des espaces côtiers face aux risques : l'apport des SIG. *SIG et littoral*, Lavoisier, Paris, pp.191-215.
- Rolland, G., 2005. *Synthèse bibliographique sur la gestion intégrée des zones côtières*. Rivages de France, 37 p.
- Roussey, C., Laurini, R., Beaulieu, C., Tardy, Y. et Zimmermann, M., 2004. Le projet Towntology, un retour d'expérience pour la construction d'une ontologie urbaine. *Les ontologies spatiales*, Hermès Lavoisier, pp.217-237.
- Salm, R.V., Clark, J. et Siirila, E., 2000. *Marine and Coastal Protected Areas : a guide for planners and managers. Troisième édition*. IUCN Marine Programme, 396 p. <http://cmsdata.iucn.org/downloads/mpaguid2.pdf>.
- Schiewe J., Tufte L. et Ehlers M., 2001. Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. *GeoBIT/GIS*, vol.6, pp.34-39.
- Scouvar, M. et Lambin, E.F., 2006. Approche systémique des causes de la déforestation en Amazonie brésilienne : syndromes, synergies et rétroactions. *L'espace géographique*, vol.35, n°2006-3, pp.241-254.
- Scura L.F., Chua T-E., Pido M.D. et Paw J.N., 1992. Lessons from integrated coastal zone management: the ASEAN experience. Manila, Philippines, Integrative Framework and Methods for Coastal Area Management, ICLARM Conference Proceedings, pp.1-70.
- Shalaby, A. et Tateishi, R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, n°27, pp.28-41.
- Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of remote sensing*, vol.10, n°6, pp.989-1003.
- Small, C. et Nicholls, R. J., 2003. A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, vol.19, n°3, pp.584-599.
- Small, C., Gornitz, V. et Cohen, J.E., 2000. Coastal hazards and the global distribution of human population. *Environmental geosciences*, vol.7, n°1, pp.3-12.
- Smeets, E. et Weterings, R., 1999. *Environmental indicators : typology and overview*. European Environment Agency, Technical Report n°25, 19 p. www.eea.europa.eu/publications/TEC25/tech_25_text.pdf.
- Smith, J. H., Stehman, S. V., Wickham, J. D. et Yang, L., 2003. Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*, vol.84, pp.342-349.
- Sonnec, E., 2009. Politiques foncières et recompositions sociospatiales en zone côtière. L'exemple de la Presqu'île de Rhuys. *Tensions foncières sur le littoral*, Presses Universitaires de Rennes, pp.127-139.
- Sparfel, L., Gourmelon, F. et Le Berre, I., 2008. Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière. *Télédétection*, vol.8, n°4, pp.237-256. http://www.teledetection.net/upload/TELEDETECTION/pdf/Vol8No4_p2light.pdf.
- Sparfel, L., Le Berre, I. et Gourmelon, F., à paraître. Evaluation des changements d'occupation des sols en zone côtière à partir de données hétérogènes. *Revue Internationale de Géomatique*.
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P.D., Jäger, J., Matson, P.A., Moore, III B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H.-J., Turner, II B. L. et Wasson, R.J., 2004. *Global Change and the Earth System : a planet under pressure*. Springer - Verlag, Berlin, 336 p.

Stehman, S. V., Wickham, J. D., Smith, J. H. et Yang, L., 2003. Thematic accuracy of the 1992 National Land-Cover Data for the eastern United-States : statistical methodology and regional results. *Remote Sensing of Environment*, vol.86, pp.500-516.

Stow, D.A., Tinney, L.R. et Estes, J.E., 1980. *Deriving land-use land cover change statistics from Landsat : a study of prime agricultural land*. Ann harbor, Michigan, USA, Proceedings of the 14th International Symposium on remote sensing of environment, pp.1227-1237.

Svarstad, H., Petersen, L. K., Rothman, D., Siepel, H. et Wätzold, F., 2008. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. *Land Use Policy*, vol.25, n°1, pp.116-125.

Thériault, M., Sparfel, L., Gourmelon, F. et Le Berre, I., à paraître. Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol : cadres formels et exemple d'application. *Revue Internationale de Géomatique*.

Thomson, A. G., Manchester, S. J., Swetnam, R. D., Smith, G. M., Wadsworth, R. A., Petit, S. et Gerard, F. F., 2007. The use of digital aerial photography and CORINE-derived methodology for monitoring recent and historic changes in land cover near UK Natura 2000 sites for the BIOPRESS project. *International Journal of remote sensing*, vol.28, n°23, pp.5397-5426.

Townshend, J. R. G., Huang, C., Kalluri, S. N. V., DeFries, R. et Liang, S., 2000. Beware of per-pixel characterization of land-cover. *International Journal of remote sensing*, vol.21, n°4, pp.839-843.

Turner, II B. L., Kasperson, R., Matson, P.A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. et Schiller, A., 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, vol.100, n°14, pp.8074-8079.

Turner, II B. L., Lambin, E.F. et Reenberg, A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, vol.104, n°52, pp.20666-20671.

Turner, II B. L., Moss, R.H. et Skole, D., (eds.), 1993. *Relating land-use and global land-cover change : a proposal for an IGBP-HDP Core Project*. IGBP Report n°24 : HDP Report n°5, 65 p.

Turner, II B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fisher, G., Fresco, L. O. et Leemans, R., 1995. *Land-use and land-cover change science / research plan*. IGBP report n°35 et IHDP report n°7, 132 p.

Ucuncuoglu, E., Arli, O. et Eronat, A. H., 2006. Evaluationg the impact of coastal land uses on water-clarity conditions from Landsat TM/ETM+ imagery : Candarli Bay, Aegan Sea. *International Journal of remote sensing*, vol.27, n°17, pp.3627-3643.

UE, 2002. *Recommandation du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières en Europe*. Journal Officiel des Communautés Européennes, L 148/24, 6.06.2002, 4 p.

IUCN, 2004. *Managing marine protected areas. A TOOLKIT for the Western Indian Ocean*. IUCN Eastern African Regional Programme, 172 p., http://cmsdata.iucn.org/downloads/mpa_toolkit_wio.pdf.

IUCN, 2008. *Managing marine and coastal protected areas - A toolkit for South Asia*. IUCN, 232 p. http://cmsdata.iucn.org/downloads/mpa_toolkit_for_south_asia.pdf.

UNEP, 2006. *Marine and coastal ecosystems and human well-being: a synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. United Nations Environnement Programme (UNEP), 76 p.

UNESCO, 1997. *Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière*. Commission océanographique intergouvernementale UNESCO, 49 p.

Vallega, A., 1992. *Sea Management : A Theoretical Approach*. Elsevier, Londres, 259 p.

Vallega, A., 1999. *Fundamentals of integrated coastal management*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 264 p.

Van Beek, L. P. H. et Van Ascht, T. W. J., 2004. Regional assessment of the effects of land-use change on landslide hazard by means of physically based modelling. *Natural Hazards* n°31, pp.289-304.

- van der Sande, C.J., de Jong, S.M. et de Roo, A.P.J., 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, n°4, pp.217-229.
- van Oort, P. A. J., 2007. Interpreting the change detection error matrix. *Remote Sensing of Environment*, vol.108, pp.1-8.
- Vannier, C., Aguejda, R. et Hubert-Moy, L., 2008. *Evolution de la tâche urbaine et de l'occupation des sols sur le Morbihan entre 1985 et 2005*. CAUE du Morbihan, COSTEL - Université de Rennes 2 - CAREN, 54 p.
- Vigné, P., Frère, A. et Védrenne, S., 2008. *Nomenclature pour la nouvelle base de données de l'occupation du sol du littoral 2000-2006*. CETE Normandie-Centre, 27 p., http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Nomenclature_LittoMos_cle68478b.pdf.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. et Melillo, J. M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, vol.277, n°5325, pp.494-499.
- Voiron-Canicio, C., 2007. *Modélisation spatio-morphologique de l'urbanisation du littoral languedocien*. <http://www.umrespace.org/Etudes/ModelSimulSpat/VoironC/VoironC.pdf>.
- Willhauck, G., 2000. Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol.33, 8 p.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y. et Huang, Z., 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and urban planning*, vol.75, pp.69-80.
- Yuan, F. et Bauer, M. E., 2006. *Mapping impervious surface area using high resolution imagery : a comparison of object-based and per-pixel classification*. Reno, Nevada, Proceedings of ASPRS 2006 Annual Conference, 1-5 mai 2006, 8 p.
- Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., DiMiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C., Hansen, M. C. et DeFries, R. S., 2002. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. *Remote Sensing of Environment*, vol.83, pp.336-350.
- Zhang, Q., Wang, J., Peng, X., Gong, P. et Shi, P., 2002. Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of remote sensing*, vol. 23, n°15, pp.3057-3078.

Liste des figures

Figure 1 : Un exemple de la superposition des limites administratives et réglementaires en zone côtière : le cas du Pays de Brest.	16
Figure 2 : Interactions entre la biodiversité, les services écosystémiques, le bien-être humain et les facteurs de changements (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).	18
Figure 3 : Répartition de la population mondiale (novembre 2000) (Mayhew et Simmon (NASA/GSFC), NOAA/ NGDC, DMSP Digital Archive, http://apod.nasa.gov/apod/ap001127.html).	20
Figure 4 : Recensement des interactions entre activités humaines en zone côtière méditerranéenne (Vallega, 1992).	21
Figure 5 : Impacts « emboîtés » résultant d'une augmentation de la pression urbanistique sur la zone côtière (d'après Hénocque, 2001 ; Kullenberg, 2001).	22
Figure 6 : Des données aux indicateurs.	27
Figure 7 : Le modèle DPSIR (Smeets et Weterings, 1999).	29
Figure 8 : Exemple de fiche méthodologique et de résultat issus du programme Deduce.	33
Figure 9 : Cadre conceptuel de l'occupation et utilisation des sols (modifié de Hubert-Moy, 2004).	38
Figure 10 : Cadre conceptuel de l'occupation et utilisation des sols (d'après Steffen <i>et al.</i> , 2004 ; Ojima <i>et al.</i> , 2005).	40
Figure 11 : Changements d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle globale depuis 1700 (Lambin <i>et al.</i> , 2001).	41
Figure 13 : Carte d'occupation des sols MODIS Land Cover.	52
Figure 14 : Couverture spatiale des données CORINE Land Cover (http://etc-lusi.eionet.europa.eu/CLC2000).	54
Figure 15 : CORINE Land Cover 2006 pour la France aux trois niveaux de précision.	57
Figure 16 : Extrait de la version papier et de la version numérisée de l'IPLI-77.	61
Figure 17 : Emprise spatiale de la couverture Litto-MOS (http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=litto_MOS&service=CETE_NC).	62
Figure 18 : Extrait de l'atlas de l'évolution de l'occupation des sols sur le littoral breton entre 1977 et 2000.	64
Figure 19 : Evolution de la tâche urbaine dans le Finistère entre 1984 et 2005 (valorisation de Dusseux <i>et al.</i> , 2009).	66
Figure 20 : Impacts des changements d'occupation et d'utilisation des sols de l'échelle locale à l'échelle globale.	68
Figure 21 : Densité de peuplement en habitants par hectare de surface communale dans les départements littoraux français en 2006 (DIACT, 2007).	75
Figure 22 : Evolution de la population des cantons littoraux par façade maritime entre 1962 et 2005 (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	75
Figure 23 : Evolution de la population comparée des communes littorales, des communes de l'arrière-pays et de la France métropolitaine entre 1962 et 2005 (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	76
Figure 24 : Soldes naturels et migratoires sur le littoral entre 1990 et 1999 (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	77
Figure 25 : Evolution des surfaces en logements construites annuellement entre 1990 et 2006 (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	78
Figure 26 : Evolution de la construction de résidences principales et secondaires dans les communes littorales entre 1990 et 2006 (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	79
Figure 27 : Evolution des temps d'accès au littoral en 1986, 1996 et 2006 (DIACT, 2007).	80

Figure 28 : Occupation des sols en 2006 dans les communes littorales et en France Métropolitaine (Béoutis <i>et al.</i> , 2009).	81
Figure 29 : Répartition des principaux types d'occupation des sols en 2006 en fonction de la distance à la mer (Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).	82
Figure 30 : Part du territoire affecté par des changements d'occupation des sols, entre 2000 et 2006, par grands types de postes d'occupation des sols (Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).	83
Figure 31 : Evolution de l'occupation des sols entre 2000 et 2006 en fonction de la distance à la mer (d'après Observatoire du Littoral - SOeS, 2009).	84
Figure 32 : Densité de population en Bretagne en 2006 (source : INSEE).	89
Figure 33 : Evolution de la population bretonne entre 1982 et 2006.	91
Figure 34 : Evolution de la population bretonne entre 1999 et 2006 (source : INSEE).	92
Figure 35 : Répartition des nouveaux arrivants retraités en Bretagne en 2006 (Baudequin, 2009).	93
Figure 36 : Taux de construction annuel moyen par commune entre 1999 et 2007 (Source : INSEE).	95
Figure 37 : Surfaces construites sur la façade atlantique entre 1990 et 2006 (Observatoire du Littoral, 2009).	96
Figure 38 : Evolution de l'occupation des sols en Bretagne entre 2000 et 2006 (source : CORINE Land Cover 2000, 2006).	96
Figure 39 : Quelques mesures de protection et de gestion en vigueur sur le littoral breton depuis 1967.	99
Figure 40 : Le Pays de Brest.	104
Figure 41 : Les communautés de communes et d'agglomération du Pays de Brest.	104
Figure 42 : Principaux types d'occupation des sols du Pays de Brest par EPCI selon CORINE Land Cover 2006.	106
Figure 43 : Répartition de la population du Pays de Brest en 2007.	110
Figure 44 : Extrait du SALBI, unité d'aménagement des Abers, 1975.	112
Figure 45 : La vocation maritime du PADD du SCOT du Pays de Brest.	114
Figure 46 : Occupation et l'utilisation des sols dans le Pays de Brest en 1990, 2000 et 2006 (source : Union européenne – SOeS, CORINE Land Cover, 2006.).	117
Figure 47 : Changements d'occupation et d'utilisation des sols dans le Pays de Brest entre 1990 et 2006 d'après CORINE Land Cover.	118
Figure 48 : Occupation et l'utilisation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977	119
Figure 49 : Couverture de l'orthophotographie littorale pour le Pays de Brest.	121
Figure 50 : Exemple de rupture radiométrique dans l'orthophotographie littorale 2000.	122
Figure 51 : Scène HRG-XS de SPOT 5 (Sparfel <i>et al.</i> , 2008).	123
Figure 52 : Localisation des points de contrôle pour la validation de la classification	128
Figure 53 : Organigramme méthodologique pour la classification orientée-objet de l'image SPOT 5.	130
Figure 54 : Exemple de fiche issue du catalogue de données.	137
Figure 55 : Extrait de la table attributaire issues de la classification de l'image SPOT 5.	138
Figure 56 : Organigramme méthodologique pour le croisement des données IPLI et SPOT 5.	141
Figure 57 : Matrice des changements utilisée pour identifier les principaux changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003.	143
Figure 58 : Organigramme méthodologique pour le lissage cartographique des données de changements d'occupation des sols.	146
Figure 59 : Carte de l'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 1 à partir de la classification de SPOT 5.	150

Figure 60 : Extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 2 à partir de la classification de SPOT 5.	152
Figure 61 : Extrait de la carte d'occupation des sols du Pays de Brest (2003) au niveau 3 à partir de la classification de SPOT 5.	154
Figure 62 : Comparaison de l'occupation des sols dans le Pays de Brest obtenue avec les données SPOT 5 (2003) et Landsat (2005) (Dusseux <i>et al.</i> , 2009).	159
Figure 63 : Carte de l'occupation des sols du Pays de Brest en 1977 à partir des données de l'IPLI.	161
Figure 64 : Décalage géométrique des objets « habitat dispersé récent » dans l'IPLI.	163
Figure 65 : Changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003.	165
Figure 67 : Statistiques de l'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977 d'après l'IPLI.	169
Figure 68 : Occupation des sols agrégée de la zone côtière du Pays de Brest en 1977 d'après l'IPLI.	170
Figure 69 : Occupation des sols agrégée par communauté de communes dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977.	171
Figure 70 : Occupation des sols agrégée dans la zone côtière du Pays de Brest en 1977 en fonction de la distance à la mer.	172
Figure 71 : Statistiques de l'occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003.	173
Figure 72 : Occupation des sols agrégée du Pays de Brest en 2003.	174
Figure 73 : Occupation des sols dans les EPCI du Pays de Brest en 2003.	175
Figure 74 : Occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003 en fonction du type de commune.	176
Figure 75 : Occupation des sols agrégée dans la zone côtière du Pays de Brest en 2003 en fonction de la distance à la mer.	177
Figure 76 : Proportion des changements d'occupation des sols intervenus entre 1977 et 2003 dans les communes littorales du Pays de Brest.	178
Figure 77 : Surfaces ayant changé d'occupation des sols entre 1977 et 2003.	179
Figure 78 : Part des EPCI du Pays de Brest ayant changé d'occupation des sols entre 1977 et 2003	180
Figure 79 : Changements d'occupation des sols dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.	181
Figure 80 : Artificialisation entre 1977 et 2003.	182
Figure 81 : Surfaces mises en culture au détriment de zones naturelles entre 1977 et 2003.	184
Figure 82 : Surfaces s'étant enfrichées entre 1977 et 2003.	185
Figure 83 : Part du territoire en déprise agricole dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.	186
Figure 84 : Typologie des communes littorales du Pays de Brest en fonction des changements d'occupation et d'utilisation des sols entre 1977 et 2003 exprimés en valeur relative.	188
Figure 85 : Périurbanisation et rurbanisation selon Merlin (2009).	190
Figure 86 : Evolution de l'artificialisation entre 1977 et 2003 en périphérie de la ville de Brest.	191
Figure 87 : Evolution de la population du Pays de Brest entre 1975 et 2007.	192
Figure 88 : Exemples d'artificialisation sur le littoral du Pays de Brest.	195
Figure 89 : Surfaces cumulées construites en logements entre 1990 et 2007 dans le Pays de Brest (source : Sitadel).	196
Figure 90 : Evolution des surfaces construites en logements entre 1990 et 2007 dans les communes littorales et l'arrière-pays du Pays de Brest (source : Sitadel).	197

Figure 91 : Evolution du nombre de logements commencés dans le Pays de Brest entre 2001 et 2008 (source : Adeupa, 2009).	197
Figure 92 : Détail des zones artificialisées entre 1977 et 2003 dans les communes littorales du Pays de Brest.	198
Figure 93 : Evolution du prix moyen au m ² des terrains à bâtir dans le Pays de Brest entre 1990 et 2006 (source : DGI / Adeupa).	199
Figure 94 : Devenir en 2003 des terres classées comme « terres agricoles » et « zones naturelles » en 1977.	201
Figure 95 : Exemples de zones naturelles préservées de l'artificialisation sur le littoral du Pays de Brest.	202
Figure 96 : Un exemple de l'influence des voies de communication pour l'extension de l'artificialisation (commune de Plougastel-Daoulas).	203
Figure 97 : Taux d'artificialisation en fonction du temps de trajet au centre-ville de Brest.	209
Figure 98 : Taux d'artificialisation en fonction de la distance aux zones déjà artificialisées en 1977.	210
Figure 99 : Taux d'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance aux routes principales (nationales et départementales).	210
Figure 100 : Part du territoire s'étant artificialisée entre 1977 et 2003 dans la zone côtière du Pays de Brest en fonction de la distance à la mer.	211
Figure 101 : Relation entre le taux d'artificialisation et le prix moyen des terrains constructibles en 2000-2003.	212

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des 27 indicateurs utilisés dans le cadre du programme Deduce.	32
Tableau 2 : Liste des fiches indicateurs disponibles sur le site internet de l'Observatoire du Littoral.	35
Tableau 3 : Typologie des causes de changements d'utilisation des sols (Geist <i>et al.</i> , 2005)	43
Tableau 4 : Exemples de services écosystémiques dégradés par les changements d'occupation et d'utilisation des sols (DeFries <i>et al.</i> , 2004).	45
Tableau 5 : Synthèse de quelques programmes portant sur l'acquisition d'information sur l'occupation des sols et son évolution aux échelles globales, régionales et locales.	48
Tableau 6 : Typologies de Global Land Cover 2000 (d'après Bartholomé et Belward, 2005).	50
Tableau 7 : Typologie de Globcover (d'après Arino O. <i>et al.</i> , 2008) Arino <i>et al.</i> , 2008).	51
Tableau 8 : Typologie de MODIS Land Cover (d'après Friedl <i>et al.</i> , 2002).	53
Tableau 9 : Typologie de CORINE Land Cover (http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/nomenclature/nomenclature-corine-land-cover-europe.html).	55
Tableau 10 : Critères de production de la couverture française de CORINE Land Cover aux trois dates.	58
Tableau 11 : Typologie de l'IPLI-77.	60
Tableau 12 : Typologie de l'étude de la tâche urbaine (d'après Dusseux <i>et al.</i> , 2009).	65
Tableau 13 : Population des espaces littoraux de France métropolitaine en 2006 (source : INSEE).	74
Tableau 14 : Caractéristiques des EPCI du Pays de Brest	107
Tableau 15 : Comparaison de la résolution et de la fauchée de quelques capteurs HR et THR.	124
Tableau 16 : Avantages et inconvénients des données d'occupation des sols disponibles à l'échelle du Pays de Brest.	126
Tableau 17 : Typologie élaborée pour la classification de l'image SPOT 5.	131
Tableau 18 : Fonctions d'appartenance utilisées pour le traitement de l'image.	134
Tableau 19 : Critères de segmentation pour les classifications primaires, secondaires et tertiaires.	135
Tableau 20 : Harmonisation des typologies IPLI et SPOT 5.	142
Tableau 21 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 1.	151
Tableau 22 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 2.	152
Tableau 23 : Matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 3.	155
Tableau 24 : Exemples d'études utilisant la méthode orientée-objet.	157
Tableau 25 : Matrice de confusion de l'IPLI.	162
Tableau 27 : Evolution de la population du Pays de Brest par EPCI entre 1975 et 2007.	193
Tableau 28 : Evolution de la population des communes littorales et de l'arrière-pays du Pays de Brest entre 1975 et 2007.	194
Tableau 29 : Mode de production des indicateurs spatiaux	206
Tableau 30 : Corrélations entre le taux d'artificialisation et les indicateurs de l'évolution de la population et des logements.	213

Liste des photographies

Photographie 1 : Extension du périurbain au Relecq-Kerhuon et à Plougastel-Daoulas (© Frédéric Le Mouillour, http://www.survoldefrance.fr).	108
Photographie 2 : Littoral de la commune de Plouarzel.	108
Photographie 3 : Côte basse sableuse, commune de Kerlouan.	108
Photographie 4 : L'Aber Ildut.	108
Photographie 5 : Urbanisation du littoral, commune de Brignogan-Plages (© Philippe Autret, http://www.survoldefrance.fr).	108
Photographie 6 : Paysage agricole à Ploudalmézeau.	108
Photographie 7: L'embouchure de l'Aulne à hauteur de Rosnoën (© Frédéric Le Mouillour, http://www.survoldefrance.fr).	109
Photographie 8 : Forêt de Landevennec.	109
Photographie 9 : Le Cap de la Chèvre sur la Presqu'île de Crozon (source : www.bretagne.com).	109
Photographie 10 : Landes et friches à Roscanvel.	109

Liste des encadrés

Encadré 1 : Principes généraux de la loi Littoral.	86
Encadré 2 : La loi Pasqua de 1995.	103
Encadré 3 : Le Schéma de Cohérence Territorial.	113

Table des matières

Remerciements	3
Liste des sigles et acronymes	5
Sommaire	7
Introduction	9
PREMIERE PARTIE – CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	13
Chapitre 1 – Qu'est-ce que la zone côtière ?	13
1. Du point de vue spatial	13
1.1. Peut-on définir le littoral ?	13
1.2. La zone côtière, une entité aux limites floues	14
1.3. Des définitions adaptées aux besoins ?	15
2. Caractéristiques de la zone côtière	17
2.1. Un espace riche et pourvoyeur de services	17
2.2. Un espace densément occupé et exploité	19
2.3. Un espace fragile et sensible aux aléas	23
3. Gérer un espace complexe par la GIZC	24
3.1. Prise de conscience de la fragilité de la zone côtière	24
3.2. Un concept mondial	24
3.3. Un processus dynamique et partagé	25
Chapitre 2 - Indicateurs et connaissance de la zone côtière	27
1. Intérêt des indicateurs pour la connaissance de l'environnement	27
1.1. Les indicateurs : définition et finalités	27
1.2. Intérêt des indicateurs environnementaux	28
2. Indicateurs et GIZC en Europe	29
2.1. Information géographique et GIZC	29
2.2. Finalité des indicateurs pour la connaissance de la zone côtière	30
2.3. Les principaux indicateurs utilisés pour la connaissance et la gestion des zones côtières	31
2.3.1. A l'échelle européenne	31
2.3.2. En France	34
3. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols : un indicateur pertinent ?	35
Chapitre 3 – Les changements d'occupation des sols	37
1. Définitions	37
1.1. Précisions sémantiques	37
1.2. Facteurs et impacts des changements d'occupation et d'utilisation des sols	39
1.2.1. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols au cœur d'un système complexe	39
1.2.2. Facteurs de changements d'occupation et d'utilisation des sols	41
1.2.3. Conséquences des changements d'occupation et d'utilisation des sols	44
1.3. Etude des changements d'occupation des sols : les sources de données employées	45
2. Les approches spatiales pour appréhender l'occupation des sols et ses changements	47
2.1. A l'échelle du globe	49
2.1.1. Global Land Cover 2000	49

2.1.2. Globcover	50
2.1.3. MODIS Land Cover	51
2.2. En Europe : CORINE Land Cover	53
2.3. En France	56
2.3.1. L'utilisation de CORINE Land Cover	56
2.3.2. L'IPLI	59
2.3.2.1. L'IPLI 1977	59
2.3.2.2. Litto-MOS, une reconstitution de l'IPLI	62
2.4. En Bretagne et dans le Finistère	63
2.4.1. L'Atlas de l'évolution de l'occupation des sols sur le littoral breton entre 1977 et 2003	63
2.4.2. Evolution de la tâche urbaine dans le Finistère entre 1984 et 2005	65
3. Les enjeux de recherche concernant les changements d'occupation et d'utilisation des sols dans la zone côtière à l'échelle locale	67
3.1. La question des échelles dans la problématique des changements d'occupation des sols	67
3.2. Enjeux de recherche à l'échelle locale	68
3.3. Enjeux du suivi des changements d'occupation des sols pour la zone côtière	69
Conclusion de la première partie	70
DEUXIEME PARTIE – DONNEES ET METHODES	73
Chapitre 1 – La zone côtière française : un espace attractif en mutation	73
1. La croissance de l'artificialisation sur les littoraux français.	73
1.1. La forte croissance démographique de la zone côtière métropolitaine	73
1.1.1. 10% de la population sur 4% du territoire national	73
1.1.2. Une situation démographique variable selon les façades maritimes	74
1.1.3. Saturation des littoraux et étalement vers l'arrière-pays	76
1.1.4. Facteurs d'attraction des littoraux français	76
1.2. L'artificialisation de la zone côtière : le littoral victime de son succès	77
1.2.1. Le rythme rapide de la construction sur le littoral	78
1.2.2. La densification des infrastructures de transport	80
1.2.3. Impact de l'artificialisation des zones côtières sur l'occupation des sols	81
1.2.3.1. L'occupation des sols sur le littoral métropolitain	81
1.2.3.2. Les changements d'occupation des sols sur le littoral métropolitain	82
1.3. 50 ans de gestion de la zone côtière en France	84
1.3.1. Avant la GIZC	85
1.3.1.1. Les SAUM et SMVM	85
1.3.1.2. Un outil législatif à terre : la « loi Littoral »	86
1.3.2. La GIZC	87
2. Les dynamiques démographiques et spatiales du littoral breton	88
2.1. Une population bretonne concentrée sur les littoraux	88
2.1.1. Des densités de peuplement littoral élevées	88
2.1.2. Mutations récentes de l'évolution spatiale de la population	90
2.1.3. Une croissance démographique tirée par les migrations	92
2.2. Urbanisation du littoral et maîtrise foncière	94
2.2.1. Une vitesse de construction soutenue sur le littoral	94
2.2.2. Une consommation de l'espace pour l'habitat au détriment des terres agricoles	95
2.2.3. Urbanisation, tensions foncières et mixité sociale	97
2.3. La gestion de la zone côtière en Bretagne	98
2.3.1. De nombreux outils de gestion du littoral breton	98
2.3.2. Une action à l'échelle de la région : la Charte des espaces côtiers bretons.	100

Chapitre 2 – Présentation du Pays de Brest	102
1. Un « pays » en périphérie de la Bretagne	102
1.1. Naissance d'un « pays »	102
1.2. Une juxtaposition d'espaces variés	105
2. Un territoire polarisé par la ville de Brest	110
3. La gestion de la zone côtière dans le Pays de Brest	111
3.1. Le SALBI et le SAUM	111
3.2. Prise en compte des problématiques littorales dans le SCOT du Pays de Brest	113
3.3. Mise en œuvre de la GIZC dans le Pays de Brest	115
Chapitre 3 – A l'échelle du pays de Brest : données et méthodes	116
1. Les données disponibles	117
1.1. Informations thématiques	117
1.1.1. CORINE Land Cover	117
1.1.2. L'Inventaire Permanent du Littoral 1977	118
1.2. Données images	120
1.2.1. L'orthophotographie littorale	120
1.2.2. L'image SPOT 5	122
1.2.3. Les photographies aériennes	124
1.3. Données retenues	125
1.3.1. Les données de référence : IPLI et SPOT 5	125
1.3.2. Les données en appui du traitement de l'image SPOT	127
2. Méthode de production d'une information relative à l'occupation des sols	129
2.1. La typologie	131
2.2. Traitement de l'image	132
2.2.1. Production d'informations en appui de la classification	132
2.2.2. Segmentation de l'image	132
2.2.3. Construction du réseau hiérarchique de classes	133
2.2.4. Classification de l'image	134
2.2.4.1. Classification primaire	135
2.2.4.2. Classification secondaire	135
2.2.4.3. Classification tertiaire	136
2.2.5. Dictionnaire des règles de connaissances	136
2.3. Intégration des données produites dans une Base d'Information Géographique (BIG)	137
2.4. Validation de la classification	138
3. Méthode de production d'une information relative aux changements d'occupation des sols entre 1977 et 2003	139
3.1. Choix de la méthode	139
3.2. Définition d'une matrice des changements	141
3.2.1. Harmonisation des typologies IPLI et SPOT 5	141
3.2.2. Elaboration de la matrice des changements	143
3.3. Croisement des couches d'information	144
3.4. Validation de la qualité de l'information	144
3.4.1. L'IPLI	144
3.4.2. Les changements d'occupation des sols	145
3.5. Lissage cartographique de l'information	145
Conclusion de la seconde partie	147
TROISIEME PARTIE – RESULTATS	149

Chapitre 1 – Qualité de l'information	149
1. Classification de l'image SPOT 5	149
1.1. Niveau 1	149
1.2. Niveau 2	151
1.3. Niveau 3	153
1.4. Discussion	155
1.4.1. Interprétation des différents types d'objets	155
1.4.2. Performances des classifications de l'occupation des sols	156
1.4.3. Comparaison des résultats obtenus avec d'autres données relatives à l'occupation des sols du Pays de Brest	158
2. Les données de l'IPLI	160
2.1. Qualité globale de l'IPLI	160
2.2. Qualité sémantique et géométrique	162
2.3. Discussion	163
3. Croisement de l'IPLI (1977) et de la classification de SPOT 5 (2003)	164
3.1. Performance des données de changements	164
3.2. Décalages géométriques et production d'artefacts	166
3.3. Discussion	167
Chapitre 2 – Les changements d'occupation des sols entre 1977 et 2003	168
1. Occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest en 1977	168
1.1. Un territoire hétérogène	168
1.2. Un littoral artificialisé et peu cultivé	172
2. Occupation des sols dans le Pays de Brest en 2003	173
2.1. Un territoire densément artificialisé	173
2.2. Variations de l'occupation des sols par EPCI	175
2.3. L'influence de la proximité de la mer	175
2.3.1. Des communes littorales plus artificialisées que l'arrière-pays	175
2.3.2. Occupation des sols et distance au trait de côte	176
3. Changements d'occupation des sols dans les communes littorales du Pays de Brest entre 1977 et 2003	177
3.1. Des changements inégalement répartis	178
3.1.1. Des changements importants mais localisés	178
3.1.2. L'influence de la mer	180
3.2. Artificialisation, mise en culture et déprise agricole	181
3.2.1. L'artificialisation, moteur des changements dans la zone côtière du Pays de Brest	181
3.2.2. Plus de friches, moins de mise en culture	183
3.3. Typologie des communes littorales du Pays de Brest en fonction des changements observés entre 1977 et 2003	186
Chapitre 3 – facteurs d'artificialisation de la zone côtière du Pays de Brest entre 1977 et 2003	189
1. Dynamiques de l'artificialisation	189
1.1. Dynamiques périurbaines	189
1.1.1. Précisions sémantiques relatives à la périurbanisation	189
1.1.2. La périurbanisation autour de Brest	190
1.1.3. Attractivité des EPCI de la façade atlantique	192
1.2. Urbanisation littorale	193
1.3. Une artificialisation liée à la construction de logements	196
1.3.1. Progression de la construction de logements	196
1.3.2. Forte progression du bâti semi-urbain	198

1.3.3. Cycles résidentiels et prix du foncier	199
1.4. Une artificialisation au détriment des terres agricoles	200
1.5. Le rôle des voies de communication dans la diffusion de l'urbanisation	202
1.6. Une artificialisation contigüe au bâti existant en 1977	203
2. Les principaux facteurs des dynamiques d'artificialisation	204
2.1. Méthode	204
2.1.1. Production d'indicateurs	204
2.1.1.1. Détermination de la variable expliquée	205
2.1.1.2. Détermination des variables explicatives	205
2.1.1.2.1. Indicateurs spatiaux	205
2.1.1.2.2. Indicateurs socio-économiques	206
2.1.2. Mise en relation des variables	207
2.2. Résultats	208
2.2.1. Une artificialisation fortement corrélée à la distance au pôle brestois	208
2.2.2. Une artificialisation concentrée autour de zones déjà artificialisées	209
2.2.3. Une artificialisation conditionnée par le réseau de communication	210
2.2.4. La littoralisation	211
2.2.5. Le prix du terrain à bâtir, un indicateur de la pression foncière	212
2.2.6. Baisse de la densité de population dans les zones artificialisées	213
3. Synthèse	213
Conclusion de la troisième partie	215
Conclusion générale	217
Références bibliographiques	221
Liste des figures	235
Liste des tableaux	239
Liste des photographies	240
Liste des encadrés	240
Table des matières	241